

COMPARACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA, OBTENIDOS EN
LOS EQUIPOS DE CORTE DIRECTO DE LA UNIVERSIDAD PONTIFICIA
BOLIVARIANA DE BUCARAMANGA PARA ARCILLAS DE BAJA PLASTICIDAD

JUAN SEBASTIAN BONILLA URIBE
SANTIAGO CORDOBA CASTILLO

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA
ESCUELA DE INGENIERÍAS Y ADMINISTRACIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
COMITÉ DE TRABAJOS DE GRADO
BUCARAMANGA

2017

COMPARACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA, OBTENIDOS EN
LOS EQUIPOS DE CORTE DIRECTO DE LA UNIVERSIDAD PONTIFICIA
BOLIVARIANA DE BUCARAMANGA PARA ARCILLAS DE BAJA PLASTICIDAD

JUAN SEBASTIAN BONILLA URIBE
SANTIAGO CORDOBA CASTILLO

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

DIRECTOR:

Ing. Msc. GERARDO BAUTISTA GARCÍA

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA
ESCUELA DE INGENIERÍAS Y ADMINISTRACIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
COMITÉ DE TRABAJOS DE GRADO
BUCARAMANGA

2017

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bucaramanga, Septiembre 2017

DEDICATORIA

Dedicado a...

A Dios.

Primero que todo la dedicación va para Dios, ya que Él siempre ha estado conmigo en toda mi vida y nunca me ha abandonado, gracias a Él jamás me rendí por querer salir adelante frente a los obstáculos difíciles que se me presentaron en mi vida, siempre tuve la frente en alto por más que me caía me volvía a levantar y ser más fuerte, cuando me sentía en la soledad hablar con Dios me sentía protegido. Por eso la dedicación primordial es para Él, sin Él no estaría donde estoy ahora, y espero seguir cosechando éxitos y ante todo mantenerme humilde como Dios me enseñó.

A mis padres

María del Tránsito Uribe Celis y Helio Bonilla Blanco, gracias a ellos son mi motivo de ser cada día mejor y ser mejor persona para los demás, ellos siempre estuvieron en las buenas y en las malas durante toda la etapa de mi carrera universitaria, gracias a ellos también por darme el pan de cada día para siempre mantener las fuerzas de seguir estudiando, gracias a ellos por brindarme un cálido hogar y gracias a ellos por brindarme sonrisas cuando me sentía pesimista. Doy gracias a Dios por tener unos padres tan dedicados por mí en todos los aspectos. Nunca me hizo falta nada, ellos lo han sido todo para mí. Y en el futuro espero yo agradecerlo por tanto amor que me brindaron. Y que le pido a mi Dios que me sigan acompañando en esta nueva etapa donde seguiré cosechando logros.

A mi hermana

Jennifer Daniela Bonilla Uribe por su humildad y su manera de hacerme ver el mundo de una manera optimista, gracias por acompañarme al igual que mis padres, y espero yo ser un buen ejemplo para ella hoy y siempre, y nunca en mi vida abandonarla y siempre protegerla por ser la mujer que más quiero a parte de mi madre y mi abuela.

A mi compañero.

Santiago Córdoba Castillo por acompañarme en esta aventura tan excitante en el cual tuvimos todo tipo de obstáculos que siempre pudimos superarlos juntos, espero que a partir de hoy seamos más unidos para seguir cosechando logros, y ante todo mantener la sencillez frente a los demás.

A mi familia, amigos cercanos y docentes

Por sus consejos y su compañía, más que todo esta parte va dedicado a 4 personas especiales que han marcado mi vida de manera grandiosa, la primera persona va para mi abuelo que Dios lo tenga en su gloria, gracias a esa persona por darme consejos y siempre brindarme una sonrisa sincera, él mismo sabe que lo extraño mucho, ya que siempre estuvo ahí y siempre se preocupó por mí, él me hizo ver esta grandiosa carrera como una oportunidad de salir adelante, siempre lo llevare en mi mente y corazón, todos los días miro al cielo y le doy una sonrisa por haberlo conocido. La otra persona es mi padrino e ingeniero Aldemar Remolina gracias a Dios por haberme puesto en el camino a esa persona cuando había perdido mis esperanzas de seguir adelante, sin él no creo que hubiera continuado por razones personales, aún recuerdo el día que él estuvo ahí presente y desde ahí se formó una grandiosa amistad y me ayudo a seguir viviendo la aventura que hoy en día finalizo y llega otra aún más emocionante. La otra persona va para la doctora María Fernanda Serrano Guzmán grandiosa mujer y otra persona junto a mi padrino que no perdieron la esperanza y creyeron en mí, gracias a ella por enseñarme el valor de la humildad y también brindarme el ejemplo de ayudar a los demás. Y por último va para el Ex-Rector Monseñor Primitivo Cano, gracias por brindarme la oportunidad de estudiar esta linda carrera y por preocuparse por mí, y haberme permitido continuar la aventura que hoy finalizo para continuar en otra que será mucho mejor.

Dedicado a....

Dedico este trabajo de grado en primera instancia a la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga por habernos dado la oportunidad de desarrollar este proyecto de grado. Del mismo modo este trabajo no se hubiera podido llevar a cabo sin la gran ayuda ofrecida por el profesor Gerardo Bautista, quien nos guió a través de este largo camino.

De igual manera este proyecto de grado va dedicado a mis padres Jairo Córdoba Arango, Martha Yolanda Castillo y mi hermano Nicolás Córdoba Castillo quienes a lo largo de mi carrera me proporcionaron el apoyo adecuado para culminar esta meta. Por último, este trabajo va dedicado a todos a mi compañero de tesis Juan Sebastián Bonilla por ayudarme a culminar este proceso de formación.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos como manera primordial a Dios, por todo lo concedido y por brindarnos la sabiduría para culminar de manera exitosa esta grandiosa carrera. Del mismo modo agradecemos a nuestros padres y hermanos por darnos su cálida compañía.

A nuestro director Gerardo Bautista por que hizo esto posible por su tan devota dedicación con nosotros para llevar a cabo este proyecto de manera exitosa. Del mismo modo es pertinente reconocer el gran sacrificio de tiempo personal que el profesor Gerardo Bautista hizo durante este proceso al momento de acompañarnos, guiarnos y enseñarnos lo requerido para la ejecución de esta tesis. Este conocimiento nos será de gran utilidad durante nuestra vida profesional.

Al laboratorista Don Vicente Páez y a los técnicos por acompañarnos y siempre estar pendiente de nosotros para ejecutar los ensayos de laboratorio de manera correcta, y también por brindarnos el buen humor y mantener el ambiente de trabajo de manera armoniosa.

.

A los ingenieros extranjeros que sin ellos no sería posible desarrollar el manual.

A nuestros profesores por enseñarnos el camino de un buen ingeniero, tanto en la manera profesional y personal.

A nuestros amigos íntimos Jonnathan Camargo Orozco, Andrés Felipe Vega, Kelly Juliana Rojas, Jaime Rojas Masmela, Johan Rueda, Daniel Vega Sánchez, Nelson Soto, Sergio Méndez, Aura Olarte y Sebastián Romero gracias por permanecer a nuestro lado en esta linda aventura, y por el apoyo mutuo que hizo que nuestra carrera fuera más emocionante, y por mantener el buen humor que hizo que fuera menos estresante nuestra vida universitaria. Y para finalizar para todas aquellas personas que conocimos en el transcurso de nuestra carrera quienes dejaron su granito de arena.

Tabla de contenido

1.	INTRODUCCION.....	18
2.	OBJETIVOS.....	19
2.1	Objetivo General.....	19
2.2	Objetivos Específicos.....	19
3.	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	20
4.	JUSTIFICACIÓN	21
5.	ALCANCE.....	22
6.	ESTADO DEL ARTE.....	23
6.1	Corte Directo y Triaxial	23
6.2	Corte directo digital con respecto Manual.....	23
7.	MARCO TEORICO.....	24
7.1	GRANULOMETRÍA	24
7.2	LÍMITES DE ATTERBERG.....	24
7.2.1	LIMITE LÍQUIDO	25
7.2.2	LIMITE PLÁSTICO	26
7.3	CLASIFICACIÓN DEL SUELO.....	27
7.3.1	SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS	28
7.3.2	CLASIFICACIÓN AASHTO	29
7.4	ENSAYO DE COMPACTACIÓN.....	30
7.4.1	FACTORES DE INFLUENCIA DURANTE UN PROCESO DE COMPACTACIÓN	30
7.4.2	PROCEDIMIENTO PARA LA EJECUCIÓN DE UN ENSAYO DE PROCTOR ESTÁNDAR Y PROCTOR MODIFICADO	31
7.5	ENSAYO DE CORTE DIRECTO.....	32
7.5.1	VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL ENSAYO DE CORTE DIRECTO	34
7.5.2	PROCEDIMIENTO DE LA PRUEBA DE CORTE.....	34
7.5.3	PARÁMETROS DE RESISTENCIA DEL SUELO MEDIANTE COMPRESIÓN TRIAxIAL.....	35
7.5.4	COMPRESION SIMPLE	35

8. PROCEDIMIENTO PARA LA EJECUCIÓN DE UN ENSAYO DE CORTE EN LA MAQUINA DIGITAL DIRECT / RESIDUAL SHEAR APPARATUS COMPLETE WITH LEVER LOADING ASEMBLY 110-120V 50/60 HZ 1PH.....	36
8.1 NORMAS GENERALES DE LABORATORIO	36
8.2 NORMAS DE SEGURIDAD PARA EL USO DE LAS INSTALACIONES Y EQUIPOS DEL LABORATORIO DE GEOTECNIA	37
8.3 INFORMACIÓN DE LA MÁQUINA.....	38
8.4 MANUAL DEL USUARIO	39
Paso 1. Conexión de los equipos a una fuente de energía	39
Paso 2. Preparación del espécimen de estudio.....	39
Paso 3. Registro de datos que caracterizan el espécimen	40
Paso 4. Armado de la recámara de corte	40
Paso 5. Procedimiento para introducir la muestra dentro de la recamara de corte.....	41
Paso 6. Disposición de la recamara de corte en la máquina de corte directo digital Direct / Residual Shear Apparatus complete with Lever Loading Asembly 110-120v 50/60 hz 1ph	42
Paso 7. Calibración de la maquina corte	43
Paso 8. Manejo del software	44
Paso 8.1. Ingreso a la interfaz del software DS7p1	44
Paso 8.2. Selección del ensayo a ejecutar	45
Paso 8.3. Parámetros para la creación de un informe.....	46
Paso 8.4. Selección de las etapas del ensayo de corte directo	47
Paso 8.6. Etapa de consolidación	51
Paso 8.7. Proceso de consolidación del espécimen.....	54
Paso 8.8. Proceso de corte del espécimen.....	55
Paso 8.9. Finalización del ensayo de corte directo.....	61
Paso 9. Extracción de la recamara corte contenida en la maquina “Digital Shear Machine”	62
Paso 10. Extracción de la muestra contenida en la recámara de corte	63
Paso 11. Completando el informe.....	63
Paso 12. Reposición de la cámara de corte	65
Paso 13. Análisis de resultados	66
Paso 14. Generación de la envolvente de falla	71
Paso 15. Generación del reporte	71
Paso 16. Reporte final	73

9.	RESULTADOS	74
9.1	GRANULOMETRIA POR TAMIZADO CON LAVADO POR LA MALLA N°200	74
9.2	DETERMINACIÓN DE LOS LIMITES DE PLASTICIDAD DEL SUELO	76
9.3	ENSAYOS DE COMPACTACIÓN.....	77
9.4	ENSAYOS DE CORTE DIRECTO CONSOLIDADO DRENADO.....	79
9.4.1	PREPARACIÓN DE MUESTRAS	79
9.4.2	ENSAYOS DE CORTE REALIZADOS EN LA MAQUINA APPARATUS DIRECT SHEAR CELDA DE 100N A 5000N “ELECAV” (CONSOLIDADO- DRENADO).....	80
9.4.3	ENSAYOS DE CORTE REALIZADOS EN LA MAQUINA “DIGITAL DIRECT / RESIDUAL SHEAR APPARATUS COMPLETE WITH LEVER LOADING ASEMBLY 110-120V 50/60 Hz 1Ph (CONSOLIDADO- DRENADO).....	81
10.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	83
10.1	CLASIFICACION DEL SUELO.....	83
10.2	ENSAYOS DE COMPACTACION.....	83
10.3	ENSAYOS DE CORTE DIRECTO	83
10.4	COMPARACION DE LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE CORTE DIRECTO REALIZADOS CON LA MAQUINA DIGITAL Y LA AUTOMATIZADA	85
11.	CONCLUSIONES	87
12.	RECOMENDACIONES	89
13.	BIBLIOGRAFÍA.....	90
14.	ANEXOS	91

Lista de figuras

Figura 1. Tamices de malla cuadrada	24
Figura 2 Curva Granulométrica.....	24
Figura 3 Ubicaciones relativas de los límites plástico y líquido de un suelo. Tomado de Propiedades geofísicas de los suelos, Joseph E. Bowles, Pag 37.	25
Figura 4. Dispositivo para la prueba de Límite líquido (CASAGRANDE)	25
Figura 5. Ranurador Fuente: Propia	26
Figura 6. Determinación de la humedad de la muestra Fuente: Propia.....	27
Figura 7 Símbolos de grupo Tomado de Propiedades geofísicas de los suelos, Joseph Bowles, Pág 82.....	28
Figura 8. Grafica de plasticidad, Tomado de Mecánica de suelos y cimentaciones, Crespo, Pag 89	28
Figura 9. Diagrama de golpes para el Proctor Fuente: INVIAS	30
Figura 10. Envolvente de falla de Mohr y los criterios de falla de Mohr – Coulomb. Fuente: Fundamentos de ingeniería geotécnica, Brajas M. Das, Pag 208	33
Figura 11. Esfuerzo cortante vs Esfuerzo principal	34
Figura 12 Conexión de la máquina a una fuente de energía.....	39
Figura 13 Conexión del computador y del Data Logger a una fuente de energía	39
Figura 14 Espécimen de corte	40
Figura 15 Registro del peso del espécimen con su molde	40
Figura 16 Registro del peso del molde	40
Figura 17 Registro de la altura del espécimen.....	40
Figura 18. Emplazamiento la placa ranurada a la parte inferior de la recámara de corte	41
Figura 19. Emplazamiento de la piedra porosa sobre la placa ranurada	41
Figura 20. Emplazamiento de la parte superior de la recámara de corte con la inferior	41
Figura 21 Restricción del movimiento de la recámara al fijar los tornillos.....	41
Figura 22 Disposición del espécimen sobre la recámara de corte.....	41
Figura 23 Presión sobre el espécimen de suelo.....	41
Figura 24 Disposición de la piedra porosa sobre el espécimen.....	41
Figura 25 Almohadilla de presión	42
Figura 26 Forma adecuada para el traslado de la recámara.....	42
Figura 27 Disposición de la recámara en la máquina de corte.....	42
Figura 28 Ajuste de los tornillos laterales de la máquina de corte.....	42
Figura 29. Elevación del brazo de carga.....	43
Figura 30. Posicionamiento del brazo de carga con respecto a la almohadilla de presión	43
Figura 31. Disposición del deformímetro con respecto al brazo de carga	43
Figura 32 Búsqueda del software DS7.1	44
Figura 33 Interfaz del software DS7.1	44
Figura 34 Selección de un nuevo ensayo	45
Figura 35 Selección del tipo de ensayo a ejecutar	46
Figura 36 Interfaz gráfica para crear un informe.....	47
Figura 37 Selección del ensayo de corte por etapas.....	48
Figura 38 Registro de datos.....	49
Figura 39 Parámetros requeridos para el cizallamiento del espécimen	49

Figura 40 Interfaz para digitar la altura y el peso de la muestra.....	50
Figura 41 Reinicio de lectura de carga de la deformación vertical.....	50
Figura 42 Proceso de consolidación.....	51
Figura 43 Requisitos previos a la ejecución de la consolidación.....	52
Figura 44 Peso equivalente a la fuerza normal.....	52
Figura 45 Ubicación del brazo de carga sobre la almohadilla de presión.....	53
Figura 46 Conteo regresivo para bajar la palanca e iniciar el proceso de consolidación.....	53
Figura 47 Registro de deformaciones verticales.....	54
Figura 48 Culminación del proceso de consolidación.....	55
Figura 49 Inicio del proceso de corte.....	55
Figura 50 Configuración para los parámetros del ensayo de corte.....	56
Figura 51 Estimación de la velocidad máxima de corte.....	57
Figura 52 Asignación de velocidad y toma de lectura por mm.....	57
Figura 53. Eliminación del historial de datos correspondientes a los desplazamientos horizontales registrados.....	58
Figura 54. Eliminación del historial de datos correspondientes a las fuerzas registradas.....	58
Figura 55 Retiro de los tornillos de la recámara.....	58
Figura 56 Registro de la velocidad de corte en la maquina Digital Shear Machine.....	59
Figura 57 Inicio del ensayo del corte.....	59
Figura 58 Comienzo del ensayo.....	60
Figura 59 Conteo regresivo para ejecutar el ensayo de corte directo.....	60
Figura 60 Inicio del ensayo de corte directo en la maquina Digital Shear Machine.....	60
Figura 61. Registro de datos.....	61
Figura 62 Finalización del proceso de registro de datos.....	61
Figura 63 Finalización de la máquina.....	61
Figura 64 Desatornillar parte trasera de la caja negra.....	62
Figura 65 Desplazamiento del deformímetro vertical.....	62
Figura 66 Retiro de carga.....	62
Figura 67 Retiro de la recámara.....	62
Figura 68 Retiro de la almohadilla de presión.....	63
Figura 69 Retiro de la parte superior de la recamara de corte.....	63
Figura 70 Extracción del espécimen.....	63
Figura 71 Etapa de medidas finales.....	64
Figura 72 Interfaz de medidas finales.....	64
Figura 73. Salvaguardar el análisis.....	65
Figura 74 Posición incorrecta de la demarcación.....	66
Figura 75 Posición correcta de la demarcación.....	66
Figura 76 Ajustando la posición de la caja negra.....	66
Figura 77 Interfaz para iniciar el análisis.....	66
Figura 78 Selección de carpeta.....	67
Figura 79 Selección de informe.....	67
Figura 80 Medidas finales del informe.....	68
Figura 81 Análisis del esfuerzo cortante vs la deformación horizontal.....	68
Figura 82 Finalización del análisis.....	69

Figura 83 Generar el reporte como documento.....	69
Figura 84 Salvaguardando el documento generado	70
Figura 85 Incompatibilidad de documentos con versiones nuevas	70
Figura 86 Selección de datos finales.....	71
Figura 87 Envolvente de falla final	72
Figura 88 Información para generar el reporte final.....	72
Figura 89 Lugar de almacenamiento del reporte.....	72
Figura 90 Reporte final	73
Figura 91 Gráfica de plasticidad. Tomado de Soil Mechanics 2013, M. Palanikumar, Pág 83.	77
Figura 92 Curva de compactación. Muestra 1.....	77
Figura 93 Gráfica de compactación. Muestra 2.....	78
Figura 94 Curva de compactación. Muestra 3.....	78
Figura 95 Modelo de extracción de una muestra	79
Figura 96 Envolvente de falla promedio para la máquina digital	81
Figura 97 Envolvente de falla promedio para la máquina automatizada.....	82
Figura 98 Carta de plasticidad	83
Figura 99 Comparación de envolventes de falla de la Digital vs Automatizada.....	85

Lista de Ecuaciones

Ecuación 1. Mohr	32
Ecuación 2. Mohr - Coulomb	33
Ecuación 3 Correlación ángulo de fricción	84
Ecuación 4 Correlación de la cohesión	84
Ecuación 5 Esfuerzo cortante de la máquina digital	85
Ecuación 6 Esfuerzo cortante de la máquina automatizada	85

Lista de Tablas

Tabla 1. Sistema AASHTO Propiedades geofísicas de los suelos, Joseph Bowles, Pag 91.	29
Tabla 2. Comparación del proctor normal y modificado Fuente: Soil Mechanics, Laboratory Manual. Braja M. Das	32
Tabla 3 Resultados de la distribución granulométrica de la muestra	74
Tabla 4 Resultados de la distribución granulométrica de la muestra	75
Tabla 5 Resultados de la distribución granulométrica de la muestra 3	75
Tabla 6 Resumen de resultados de granulometría	76
Tabla 7 Resultados de límites de Atterberg	76
Tabla 8 Promedio de las humedades óptimas.....	78
Tabla 9 Resultados obtenidos con la máquina de corte digital	80
Tabla 10 Resultados obtenidos con la máquina de corte automatizada.....	82
Tabla 11 Correlación del ángulo de fricción y la cohesión entre las dos máquinas.....	86

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: COMPARACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA, OBTENIDOS EN LOS EQUIPOS DE CORTE DIRECTO DE LA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA DE BUCARAMANGA PARA ARCILLA DE BAJA PLASTICIDAD

AUTOR(ES): Juan Sebastián Bonilla Uribe
Santiago Córdoba Castillo

FACULTAD: Facultad de Ingeniería Civil

DIRECTOR(A): Gerardo Bautista García

RESUMEN

El presente documento contiene el análisis comparativo de los parámetros de resistencia obtenidos en los equipos de corte directo de la Universidad Pontificia Bolivariana, seccional Bucaramanga; aquí se registra información previa sobre estudios de suelo, ensayos de laboratorio, información preliminar de otros autores y un manual de usuario para la máquina DIGITAL DIRECT / RESIDUAL SHEAR APPARATUS COMPLETE WITH LEVER LOADING ASSEMBLY 110-120V 50/60 Hz 1Ph. Conocer la nueva máquina de corte directo y además plasmarlo mediante un manual para usarlo posteriormente a nuevos ensayos, fue el principal objetivo que buscó la realización de este texto; por esa razón, a lo largo de libro se podrá hallar la caracterización del suelo, la comparación de resultados entre las dos máquinas, las ventajas y desventajas que tienen entre las dos, y como prioridad el manual de la máquina digital y el manejo del software DS 7.1 versión 1.0 del paquete de programas ELE INTERNATIONAL. Así mismo, se incluyen como productos adicionales un poster, una capacitación al personal de laboratorio y un video, los cuales se espera sirvan de apoyo a los potenciales usuarios del nuevo equipo de corte automatizado finalmente se dan algunas recomendaciones concernientes no solo al buen uso del equipo sino también a la adquisición de herramientas menores y manipulación de los testigos antes de la prueba.

PALABRAS CLAVES:

Análisis, Comparación, Ensayos, Manual, Suelos

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: COMPARISON OF THE RESISTANCE PARAMETERS, OBTAINED IN THE DIRECT SHEAR MACHINES FROM THE PONTIFICIA BOLIVARIANA UNIVERSITY FOR LOW PLASTICITY CLAY.

AUTHOR(S): Juan Sebastián Bonilla Uribe
Santiago Córdoba Castillo

FACULTY: Facultad de Ingeniería Civil

DIRECTOR: Gerardo Bautista García

ABSTRACT

The present document contains the comparative analysis of the resistance parameters obtained in the direct shear machines from the Pontificia Bolivariana University from Bucaramanga; Previous information about soil studies, laboratory tests, preliminary information from other authors and a user manual for the machine DIGITAL DIRECT / RESIDUAL SHEAR APPARATUS COMPLETE WITH LEVER LOADING ASSEMBLY 110-120V 50/60 Hz 1Ph is registered here to know the new machine of direct shear and show how it works through a user manual for future test, the use form this machine for future tests, was the main objective by which this test was written; For this reason throughout this book is able to find the soil characterization, comparison between the two shear direct machines, the advantages and disadvantages they have, and as a priority the digital machine manual and the handling of the DS 7.1 version 1.0 from ELE INTERNATIONAL software . Also included as additional products a poster, a training for laboratory employees and a video, which are expected to serve as a support for potential users of the new direct shear machine. Finally, some interesting recommendations are given not only to good use of the machine but also to the acquisition of minor tools and manipulation of the soil before the test.

KEYWORDS:

Analysis, Comparison, Test, Manual, Soils.

V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK

1. INTRODUCCION

Los parámetros de resistencia al corte son de suma importancia para toda obra de ingeniería y en especial en el diseño de muros de contención, cálculo de la capacidad portante. De igual modo son importantes estos parámetros para el análisis de la estabilidad de taludes. La obtención de estos parámetros de resistencia al corte se ha realizado mediante la ejecución de algunos de los siguientes ensayos triaxial, compresión inconfiada y corte directo; de todos estos ensayos el que arroja los resultados más precisos es el ensayo triaxial, sin embargo, el más usado por ingenieros geotecnistas es el de corte directo consolidado drenado.

Para la obtención de estos parámetros de resistencia al corte, la Universidad Pontificia Bolivariana, seccional Bucaramanga, adquirió en el año 2004 una máquina de corte digital, en la cual la captura de datos se debía hacer de una forma manual. Los inconvenientes y errores posibles en la obtención de estos datos arrojados por la maquina digital, hizo que naciera la necesidad de contar con un equipo más preciso para la toma de estos. Es así como en el año 2015 la Universidad Pontificia Bolivariana, seccional Bucaramanga adquirió la maquina automatizada *DIGITAL DIRECT / RESIDUAL SHEAR APPARATUS COMPLETE WITH LEVER LOADING ASSEMBLY 110-120V 50/60 Hz 1Ph*, la cual proporciona un mayor grado de exactitud en la obtención de los resultados y análisis de los mismos, al contar con el soporte del software DS7p1, para la generación de un reporte con todos los parámetros de resistencia al corte propios del suelo en estudio. Así mismo dicha maquina optimiza los tiempos de los operadores ya que la captura de datos y ejecución del reporte es automática.

En el presente trabajo de grado, se realizaron treinta ensayos de corte directo con la máquina *APPARATUS DIRECT SHEAR CELDA DE 100 N a 5000 N "ELECAV"*, y otros treinta ensayos de corte directo con la máquina *DIGITAL DIRECT / RESIDUAL SHEAR APPARATUS COMPLETE WITH LEVER LOADING ASSEMBLY 110-120V 50/60 Hz 1Ph*, esto se hace con el fin de establecer similitudes y diferencias en los parámetros de resistencia al esfuerzo cortante obtenidos con cada una.

Así mismo, en el capítulo 8, se incluye un manual de operación del equipo automatizado realizado por los autores, en él, el lector encontrará de manera clara los pasos a seguir en cada una de las etapas del ensayo para un correcto funcionamiento de dicho equipo. Se espera que este equipo sea usado de forma cotidiana en la ejecución de las pruebas requeridas en la asignatura mecánica de suelos, así como también en futuras investigaciones relacionadas con el tema aquí tratado y en la venta de servicios.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

Comparar los resultados obtenidos en la máquina de ensayo de corte directo "ELE SOIL TEST" con los de la máquina "DIGITAL DIRECT / RESIDUAL SHEAR APPARATUS COMPLETE WITH LEVER LOADING ASSEMBLY 110-120V 50/60 Hz 1Ph" para las arcillas inorgánicas de baja plasticidad de la Universidad Pontificia Bolivariana de Bucaramanga.

2.2 Objetivos Específicos

- Aprender a manejar el software y el equipo de corte directo "DIGITAL DIRECT / RESIDUAL SHEAR APPARATUS COMPLETE WITH LEVER LOADING ASSEMBLY 110-120V 50/60 Hz 1Ph".
- Determinar el peso específico seco máximo y la humedad óptima para el tipo de suelo que se va a estudiar.
- Determinar los parámetros de resistencia al corte por medio del ensayo de corte directo consolidado drenado.
- Establecer diferencias entre las envolventes de falla obtenidas del análisis de los datos de ambas máquinas.
- Calcular factores de correlación para el ángulo de fricción y la cohesión obtenidos en los equipos usados.
- Determinar las ventajas y desventajas que tiene la implementación de la máquina APPARATUS DIRECT SHEAR CELDA DE 100N A 5000N "ELECAV" para realizar el ensayo de corte directo con respecto a la máquina "DIGITAL DIRECT / RESIDUAL SHEAR APPARATUS COMPLETE WITH LEVER LOADING ASSEMBLY 110-120V 50/60 Hz 1Ph".
- Elaborar un manual de operación del aparato de corte "DIGITAL DIRECT / RESIDUAL SHEAR APPARATUS COMPLETE WITH LEVER LOADING ASSEMBLY 110-120V 50/60 Hz 1Ph", con el fin de facilitar el uso del mismo a estudiantes, profesores y laboratoristas de la facultad de ingeniería civil.

3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Cualquier equipo de laboratorio que no tenga sistematizada la captura de datos, posiblemente conlleve a presentar errores humanos. En el caso del ensayo de corte directo estos errores se pueden ver reflejados en los registros de las cargas y deformaciones horizontales, así como también en las deformaciones verticales. Si estas cargas y deformaciones no se registran de manera adecuada, se producirán en consecuencia errores en los esfuerzos cortantes, en ángulo de fricción interna y en la cohesión.

Además de los errores técnicos mencionados, el uso de equipos no sistematizados podría traer como consecuencia una disminución en el rendimiento laboral por parte de los laboratoristas, ya que ellos tendrían que dedicar parte de su tiempo a esperar resultados y anotarlos en los formatos respectivos.

4. JUSTIFICACIÓN

La cohesión y el ángulo de fricción interna son los parámetros de resistencia al esfuerzo cortante de los suelos. De ellos depende el cálculo de: la capacidad de soporte, los asentamientos, las presiones laterales de tierras, etc., con los cuales se diseñan elementos de contención y cimentación.

Para la determinación de los parámetros de resistencia al corte, se han diseñado varios ensayos de laboratorio, dentro de los cuales se destaca el ensayo de corte directo como uno de los más usados. En el mercado existen diferentes equipos para realizar este ensayo, desde simples equipos manuales, hasta sofisticados equipos digitales. La Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga cuenta con dos equipos de corte directo, uno de ellos es digital pero la lectura de deformaciones y cargas debe registrarla el operador de forma manual en un formato, el otro equipo además de ser digital tiene la ventaja sobre el anterior de enviar la información al programa DS7.1, reduciendo errores en la toma de la información y optimizando el tiempo del operador.

Mediante el trabajo de grado puesto a consideración en este proyecto, se establecen coeficientes de correlación entre los parámetros de resistencia al corte obtenidos entre la máquina APPARATUS DIRECT SHEAR CELDA DE 100N A 5000N "ELECAV" y la máquina "DIGITAL DIRECT / RESIDUAL SHEAR APPARATUS COMPLETE WITH LEVER LOADING ASEMBLY 110-120V 50/60 Hz 1Ph". Esto permitirá conocer el grado de precisión con que se cuenta al ejecutar ensayos de corte con la máquina digital, al ser comparados estos parámetros de resistencia al corte con los obtenidos en la maquina automatizada.

5. ALCANCE

Dentro del alcance del trabajo de grado puesto a consideración en este proyecto de grado se establecerán coeficientes de correlación para los parámetros de resistencia al corte obtenidos en las máquinas de corte dispuesta por la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga. Además, se elaboraron los siguientes productos: el manual del equipo, el poster, una capacitación a los laboratoristas. Al contar con estos productos la Universidad pondrá en funcionamiento un equipo moderno y versátil que permite obtener los esfuerzos cortantes máximos y residuales con sus envolventes respectivas, con un mayor grado de exactitud.

Para lograr los objetivos trazados se realizarán 30 ensayos de corte directo consolidado drenado con el equipo APPARATUS DIRECT SHEAR CELDA DE 100N A 5000N "ELECAV" y otros 30 con el equipo "DIGITAL DIRECT / RESIDUAL SHEAR APPARATUS COMPLETE WITH LEVER LOADING ASSEMBLY 110-120V 50/60 Hz 1Ph" sobre el suelo arcilloso inorgánico de baja plasticidad encontrados detrás del laboratorio de construcciones de la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga. Este suelo fue usado debido a los permisos otorgados por el departamento de planta física de la Universidad Pontificia Bolivariana y por contar con los 2 parámetros de resistencia al corte necesario para el desarrollo de este proyecto.

6. ESTADO DEL ARTE

6.1 Corte Directo y Triaxial

La variación de la cohesión y el ángulo de fricción interna obtenidos por los ensayos de corte directo y triaxial con materiales granulares y arcillosos

En la tesis realizada por estudiante Rodolfo Rosales Bermúdez en el año de 2007 en la Universidad San Carlos de Guatemala sobre “La variación de la cohesión y el ángulo de fricción interna obtenidos por los ensayos de corte directo y triaxial con materiales granulares y arcillosos”; se realizaron comparaciones de los resultados obtenidos en los ensayos de corte directo, con respecto al ensayo triaxial. Esta comparación se realizó mediante el uso de la desviación estándar de los resultados, el coeficiente de variación y el promedio de los mismos. Estas comparaciones entre resultados sirvieron para llegar a las siguientes conclusiones: en el ensayo triaxial, la cohesión obtenida es mayor que la obtenida en el ensayo de corte directo; pero al mismo tiempo se halló que el ángulo de fricción interno es mayor en el ensayo de corte directo que en el ensayo triaxial.

6.2 Corte directo digital con respecto Manual

Comparación entre los parámetros de resistencia al esfuerzo cortante, obtenidos en el aparato de corte directo manual y el aparato de corte directo digital, para arenas arcillas y arenas limosas presentes en la universidad pontificia bolivariana

En la tesis realizada por las estudiantes Lyda Xiomara Peña Landazabal y Maira Carolina Meneses Paredes en el año 2006 en la Universidad Pontificia Bolivariana; se hizo la comparación de los resultados obtenidos en el ensayo de corte directo manual con respecto al equipo de corte directo digital. Estas comparaciones de resultados se realizaron para una arena arcillosa y una arena limosa. Estos dos tipos de suelos fueron sometidos a 30 ensayos de corte directo, tanto para el equipo de corte directo manual, como para el equipo de corte directo digital. Como resultado de estos ensayos se obtuvo que: para las arenas arcillosas, el ángulo de fricción interno obtenido en el equipo digital es casi dos veces superior al obtenido en el equipo manual; y del mismo modo se obtuvo que para este tipo de suelo la cohesión era 1.6 veces mayor en el equipo digital con respecto al manual.

Del mismo modo se encontró que en las arenas limosas ensayadas, el ángulo de fricción interno obtenido en el equipo digital es casi 1.9 veces mayor que el obtenido en el equipo manual. Y con respecto a la cohesión del anterior suelo mencionado se obtuvo que, para el equipo digital con respecto al equipo manual, esta cohesión era menor en 0.04 kg/cm^2 .

7. MARCO TEORICO

7.1 GRANULOMETRÍA



N° Tamiz
3"
2"
1-1/2"
1"
3/4"
3/8"
N°4
N°10
N°20
N°40
N°60
N°140
N°200

Figura 2. Tamices de malla cuadrada
Fuente Propia

El conocimiento de una composición granulométrica de un suelo grueso sirve para comprender sobre el dominio que puede tener la densidad del material compactado. El análisis granulométrico se refiere a la determinación de la cantidad en % de los diversos tamaños de las partículas que constituyen el suelo. Para clasificar por tamaños las partículas gruesas el procedimiento más común es el tamizado y se rige mediante la norma I.N.V E-123-07. Después de concluir el tamizado y conociendo los pesos parciales retenidos desde el tamiz 3" hasta las N°200 se obtienen los % retenidos parciales, los % retenidos acumulativos y los % pasando. Es necesario especificar que los retenidos parciales en cada tamiz deberán expresarse como % de la muestra total, el retenido acumulativo en el tamiz N°10, se calcula sumando el retenido parcial en dicho tamiz al retenido acumulativo en el tamiz N°4. El retenido acumulativo en el tamiz N°20 es igual al retenido acumulativo en el tamiz N°10 más el retenido acumulativo en el tamiz N°20. De igual manera se calculan los demás retenidos acumulativos hasta el tamiz N°200. Se traza la curva de la composición granulométrica del material en una gráfica que tiene por abscisas a escala logarítmica como se muestra en la figura 2, las aberturas de los tamices y por ordenados los % de material que pasa por dichos tamices, a escala aritmética. La curva resultante se analiza para dar una idea de la composición granulométrica del suelo. Así, un suelo que está formado por partículas de un mismo tamaño quedará representado por una línea vertical y un suelo con curva granulométrica bien tendida indicará gran variedad de tamaños.¹

El retenido acumulativo en el tamiz N°4. El retenido acumulativo en el tamiz N°20 es igual al retenido acumulativo en el tamiz N°10 más el retenido acumulativo en el tamiz N°20. De igual manera se calculan los demás retenidos acumulativos hasta el tamiz N°200. Se traza la curva de la composición granulométrica del material en una gráfica que tiene por abscisas a escala logarítmica como se muestra en la figura 2, las aberturas de los tamices y por ordenados los % de material que pasa por dichos tamices, a escala aritmética. La curva resultante se analiza para dar una idea de la composición granulométrica del suelo. Así, un suelo que está formado por partículas de un mismo tamaño quedará representado por una línea vertical y un suelo con curva granulométrica bien tendida indicará gran variedad de tamaños.¹



Figura 1 Curva Granulométrica
Fuente Propia

7.2 LÍMITES DE ATTERBERG

Los suelos plásticos presentan distintos estados de consistencia al variar el contenido de agua en ellos. Es así como Atterberg al observar este fenómeno definió cinco estados de

¹ (Bowles J. E., 1979)

consistencia: líquido, semilíquido, plástico, semisólido y sólido. Para establecer fronteras entre los anteriores estados; Atterberg estableció entre ellos unos límites de consistencia.

El límite entre el estado semilíquido y plástico fue designado por Atterberg como límite líquido. Este límite era determinado por Atterberg al depositar una muestra de suelo remodelada sobre una capsula; donde posteriormente a esta acción, en la parte intermedia se realiza una ranura; la cual se iba cerrando a medida que la capsula golpeaba una superficie rígida. Para Atterberg el límite líquido se halla cuando se determinaba el contenido de agua necesario para que se cerrara la ranura hecha en la muestra bajo un cierto número de golpes.

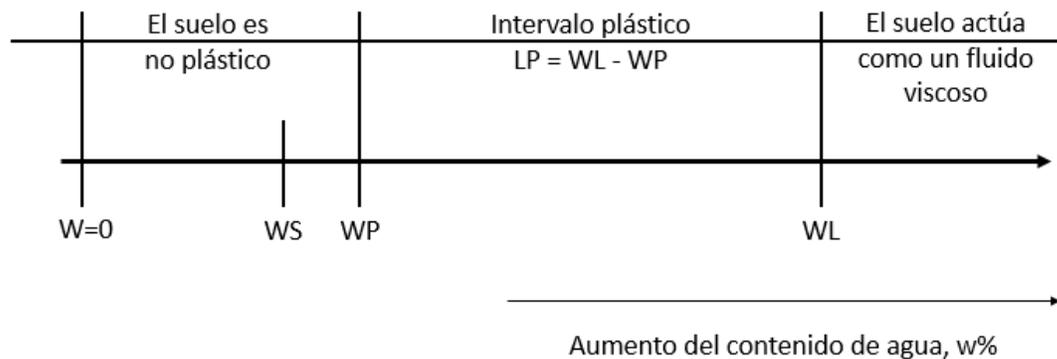


Figura 3 Ubicaciones relativas de los límites plástico y líquido de un suelo. Fuente: *Propiedades geofísicas de los suelos*, Joseph E. Bowles, Pag 37.

Del mismo modo Atterberg designó al nombre de límite plástico a la frontera presente entre los estados plásticos y semisólidos de una muestra. Este límite era obtenido por Atterberg al determinar el contenido de agua necesario para el desmoronamiento de una muestra cilíndrica.

Los anteriores procedimientos descritos por Atterberg eran ambiguos y no estandarizados; esto hacía que los resultados obtenidos bajo una misma muestra de suelo variaran al ser realizados estos en distintos laboratorios. Estos problemas fueron solucionados por Casagrande y Terzaghi al estandarizar los procedimientos en la obtención del límite líquido y el límite plástico respectivamente.²

7.2.1 LIMITE LÍQUIDO

El límite líquido se define como el contenido de agua necesario para cerrar la ranura de la muestra contenida en la cazuela de Casagrande a los 25 golpes. Del mismo modo Casagrande define el límite líquido como el contenido de agua necesario para llegar a una resistencia al corte de 25 g/cm².³ Este contenido de agua actualmente en Colombia es hallado



Figura 4. Dispositivo para la prueba de límite líquido (CASAGRANDE) Fuente Propia

² (Juarez, 1973)

³ (Juarez, 1973)

siguiendo el procedimiento descrito en la norma INVE-125-13; donde se especifica el siguiente procedimiento:

- En un recipiente de porcelana mezcle el suelo cribado en la malla N°40 con pequeñas cantidades de agua, hasta obtener una consistencia pastosa en la masa de suelo.
- Coloque una cantidad adecuada de pasta previamente preparada en la cazuela de Casagrande; teniendo cuidado de no superar una profundidad mayor de 1cm entre la superficie de la pasta de suelo con respecto a la parte inferior de la copa.
- Evite durante el proceso de disposición del suelo en la capsula, pasar la espátula el mayor número de veces; ya que esta acción introduciría burbujas de aire a la muestra; que conllevarían a errores en la determinación del límite líquido.
- El suelo colocado en la cazuela de Casagrande debe ser dividido en dos haciendo uso del ranurador mostrado en la figura 5. Esta ranura se debe realizar deslizando el ranurador de arriba hacia abajo, de una forma perpendicular a la superficie de la cazuela.
- Una vez se haya realizado la ranura en la muestra de suelo; se debe proceder a impactar la muestra haciendo uso del equipo de Casagrande. El cual debe garantizar una velocidad de impacto de 1.9 a 2.1 revoluciones por segundo.
- Durante la ejecución del ensayo el operario debe realizar el conteo del número de golpes que fueron necesarios para cerrar la muestra una longitud de 13 mm. Este número de golpes debe ser registrado, ya que será usado para el análisis posterior de los resultados.
- Seguidamente de haber registrado el número de golpes correspondientes a la muestra en estudio, el operario debe extraer un tamaño de muestra correspondiente al ancho de la espátula; en la cual se incluya el cierre de la ranura ya parte de la vecindad del suelo adyacente a esta. Este suelo debe ser depositado en un suelo de peso conocido; para luego ser pesado.
- El anterior procedimiento se debe repetir como mínimo tres veces en diferentes contenidos de humedad que garanticen la obtención del cierre de la ranura en los siguientes intervalos de golpes: 25-35, 20-30 y de 15-25
- El operario debe pesar las muestras previamente ensayadas; para luego depositarlas dentro de un horno a $110 \pm 5^\circ\text{C}$. Una vez haya pasado 24h las muestras en el horno, el operario de sacarlas y pesarlas.⁴



Figura 5. Ranurador Fuente: Propia

7.2.2 LIMITE PLÁSTICO

El límite plástico fue definido por Terzaghi como el contenido de agua necesario para que una muestra de forma cilíndrica, de radio 3 mm, presente desmoronamiento y

⁴ (INV E-125-13, 2014)

agrietamiento⁵. En la actualidad, dicho límite se determina al ejecutar el procedimiento descrito en la norma INVE-126-13; donde se especifica el siguiente procedimiento:

- El operario debe extraer 20 g de la muestra de suelo preparada en la ejecución del ensayo de límite líquido, para la ejecución de este ensayo
- Si la muestra se encuentra demasiada humedad para su manipulación; el operario debe secarla extendiéndola o mezclándola continuamente en un recipiente para que esta pierda humedad.
- Una vez la muestra en estudio tenga la consistencia adecuada para ser manipulada; se procede a elaborar con esta muestra elipses con un peso aproximado de 1.5 a 2.0 g.
- Estas elipses se hacen rodar sobre una placa de vidrio; con la presión necesaria para formar un rollo de 3.2mm de diámetro. Si al alcanzar este diámetro el cilindro no presenta desmoronamiento; este se debe volver a amasar y a enrollar en este diámetro; hasta que el cilindro presente dicho desmoronamiento.
- Una vez el cilindro presente desmoronamiento, se debe recolectar el mayor número de fragmentos en un recipiente de peso conocido. Este recipiente debe contener como mínimo con una muestra representativa de 6 gr de peso.
- El anterior procedimiento se debe repetir para otra muestra de suelo.⁶
- Una vez el operario tenga los dos recipientes que contienen las dos muestras representativas de suelo fisurado; este deberá determinar el contenido de humedad siguiendo los lineamientos de la INVE-122-13.
- El promedio de las humedades obtenida con el anterior procedimiento es lo que se denomina como límite plástico.



Figura 6. Determinación de la humedad de la muestra
Fuente: Propia

7.3 CLASIFICACIÓN DEL SUELO

Los suelos se clasifican en grupos y subgrupos dependiendo de la distribución granulométrica presente en la fracción gruesa y del comportamiento plástico que exprese la fracción fina. Estos dos parámetros de clasificación son usados tanto por el sistema de clasificación SUCS como AASHTO. Cada uno de estos dos sistemas delimita el porcentaje máximo y mínimo que debe pasar o ser retenido en una serie de tamices, esto se hace con el fin de caracterizar la fracción gruesa. Del mismo modo ambos métodos caracterizan la fracción fina de la muestra al definir los porcentajes máximos y mínimos que debe cumplir los límites de Atterberg propios de la fracción fina.⁷

⁵ (Das, 2001)

⁶ (INV E-126-13, 2014)

⁷ (Reid, 1993)

7.3.1 SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

Tipo de suelo	Prefijo	Subgrupo	Sufijo
Grava	G	Bien gradado	W
Arena	S	Pobremente gradado	P
Limo	M	Limoso	M
Arcilla	C	Arcilloso	C
Orgánico	O	$W_L < 50\%$	L
Turba	Pt	$W_L > 50\%$	H

Figura 7 Símbolos de grupo. Fuente: *Propiedades geofísicas de los suelos*, Joseph Bowles, Pág 82

El sistema unificado de clasificación de suelos clasifica los mismos según el porcentaje de masa retenida o pasante, presente en la malla N°200; hace una distinción granulométrica entre los suelos gruesos y los suelos finos. Los suelos gruesos son aquellos donde más del 50% de su masa queda retenida en el tamiz N°200; dentro de estos suelos yacen dos grandes subgrupos, las gravas y las arenas; las gravas se presentan cuando más del 50%

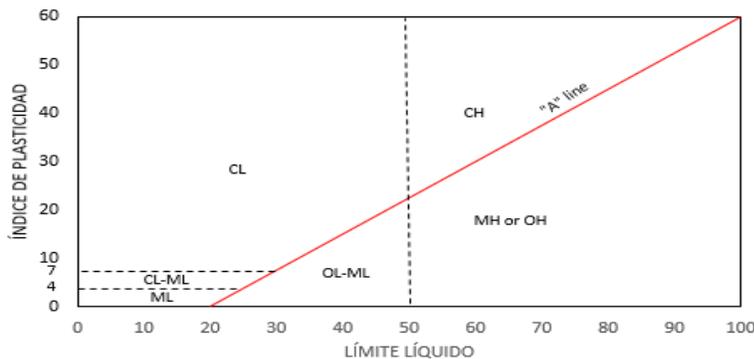


Figura 8. Gráfica de plasticidad. Fuente: *Mecánica de suelos y cimentaciones*, Crespo, Pag 89

de la fracción gruesa queda retenida en el tamiz N°4 y las arenas se presentan cuando sucede todo lo contrario.

Para realizar una distinción entre los anteriores subgrupos, se recurre a la nomenclatura G para hacer referencia a las gravas y a la S para referirse a las arenas. Estos dos subgrupos pueden estar acompañados de los sufijos W, P, M o C, dependiendo del porcentaje de finos que presente la muestra y de los coeficientes de curvatura y de uniformidad que tenga la misma.

De igual modo, una fracción de suelo puede llegar a ser fina, si más del 50% de su masa pasa el tamiz N°200; dentro de estos suelos yacen tres grandes subgrupos: los limos inorgánicos (M), las arcillas inorgánicas (C) y los suelos orgánicos (O). Estos suelos pueden estar acompañados de los sufijos L o H dependiendo del grado de comprensibilidad que presente la muestra. Por otra parte, es importante aclarar que se pueden dar casos de doble

nomenclatura, denominados casos fronteras tanto para suelos finos como para suelos gruesos.⁸

7.3.2 CLASIFICACIÓN AASHTO

Este es uno de los métodos de clasificación más antiguo, pero con el tiempo ha pasado por numerosos cambios. Este sistema se usa principalmente para clasificación y evaluación de suelos que van a ser usados en construcción de sub-rasantes de carretera y terraplenes. Este sistema se basa al igual que el unificado en el análisis granulométrico y los límites de consistencia del suelo. Además, cuenta con una información adicional sobre la calidad del suelo que es el índice de grupo.

El sistema AASHTO se divide en dos grupos; los suelos granulares y los suelos finos y además se clasifica en siete grandes grupos. Los suelos clasificados en A1, A2 y A3 son materiales granulares, donde el 35% o menos de las partículas pasan por el tamiz N°200. Los suelos que pasan por más del 35% del tamiz N°200 son clasificados en los grupos A4,

Clasificación general	Materiales Granulares (35% o menos para el tamiz #200)							Materiales Limoarcillosos (más de 35% pasa el tamiz #200)			
	A-1		A-3 ^a	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 A-7-6
Clasificación de grupos	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
Tamizado, % que pasa											
N° 10 (2.00 mm)	50 máx	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
N° 40 (425 µm)	30 máx	50 máx	51 máx	---	---	---	---	---	---	---	---
N° 200 (75 µm)	15 máx	25 máx	10 máx	35 máx	35 máx	35 máx	35 máx	35 máx	36 mín	36 mín	36 mín
Consistencia											
Límite Líquido								40 máx	41 mín	40 máx	41 mín
Índice de plasticidad	6 máx		N.P					10 máx	10 máx	11 mín	11 mín
Tipos de materiales característicos	Cantos, gravas y arena		Arena fina	Gravas y arenas limoarcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Calificación	Excelente a bueno							Regular a malo			

* La colocación de A3 antes de A2 en el proceso de eliminación de izquierda a derecha no necesariamente indica superioridad de A3 sobre A2

* El índice de plasticidad del subgrupo A-7-5 es igual o menor que LL=30. El índice de plasticidad del subgrupo A-7-6 es mayor que LL=30

Tabla 1. Sistema AASHTO. Fuente: *Propiedades geofísicas de los suelos, Joseph Bowles, Pag 91.*

A5, A6 y A7, la mayoría están formados por tipo limo y arcilla. Para clasificar el suelo con este sistema se debe recurrir a la *tabla 1*, y mediante esta tabla se debe hacer un proceso de eliminación de opciones incorrectas de izquierda a derecha y de arriba abajo. Y siguiendo este proceso, se encuentra el grupo al cual corresponde el suelo si este cumple con todas las condiciones de ese tipo de suelo.⁹

⁸ (Juarez, 1973)

⁹ (Bowles J. E., 1981)

7.4.2 PROCEDIMIENTO PARA LA EJECUCIÓN DE UN ENSAYO DE PROCTOR ESTÁNDAR Y PROCTOR MODIFICADO

- El operario debe conocer con cierta anticipación a la ejecución de este ensayo los pesos retenido en los tamices N°4, $\frac{3}{4}$ y $\frac{3}{8}$. Esto le permitirá al operario conocer la metodología a emplear durante la ejecución de este ensayo
- Una vez conocida la metodología a emplear el operario debe contar con la cantidad de material especificado en la *tabla 2* según el proceso de compactación que este utilizado. Este material deberá ser dividido en cuatro partes iguales hasta conseguir la fracción de ensayo especificada en la *tabla 2* teniendo en cuenta la metodología y el proceso de compactación seleccionado
- Una vez se cuente con las fracciones de suelo necesarias para la ejecución de este ensayo; el operario debe pesar y registrar las dimensiones del molde hacer usado
- Después de haber ejecutado el anterior paso el laboratorista deberá estimar el contenido de agua probable con el cual se podrá obtener el peso específico seco máximo. Esta estimación le servirá al laboratorista para establecer dos contenidos de agua por encima y por debajo de este contenido tentativo de porcentaje de agua óptima.
- Conocidos los porcentajes de humedad que deben ser añadidos en cada una de las fracciones a hacer ensayadas. El operario debe preparar en una bandeja la fracción de suelo a hacer ensayada con su correspondiente contenido de humedad.
- Después de haber preparado la muestra con el contenido de agua respectivo; el operario debe disponer una tercera o quinta parte de la misma según corresponda, dentro del molde de compactación designado por la metodología que se esté usando. Una vez compactada esta capa; con el número de golpes especificados en la *tabla 2* se procede a realizar el mismo procedimiento de compactación para las siguientes capas
- Después de haber compactado la última capa se remueve el collarín y la placa base anexa al molde compactado. Una vez ejecutada la anterior acción el operario debe enrasar la superficie del espécimen compactado.
- El operario debe extraer la probeta compactada contenida en el molde. Una vez extraída la probeta; se procede a dividirla en dos partes iguales; esto se hace con el fin de extraer de la parte intermedia de alguna de las dos mitades; una muestra representativa de la humedad presente durante la ejecución de este proceso de compactación.
- La humedad presente en la probeta debe ser determinada siguiendo los lineamientos establecidos por la norma INVE-122-13.
- El anterior procedimiento se debe repetir para los diferentes contenidos de humedad previamente establecidos por el operario

- Una vez el operario calcule los pesos específicos secos correspondientes para cada contenido de humedad; se procede elaborar la gráfica de compactación (peso específico seco vs humedad); con la cual se podría determinar la humedad óptima con la cual se alcanza el peso específico seco máximo correspondiente al suelo en estudio.¹³

Metodo	Proctor Normal				Proctor Modificado			
	A	B	C	D	A	B	C	D
Volumen (ft ³)	1/30	1/13.33	1/30	1/13.33	1/30	1/13.33	1/30	1/13.33
Altura (in)	4.58	4.58	4.58	4.58	4.58	4.58	4.58	4.58
Diámetro (in)	4.00	6.00	4.00	6.00	4.00	6.00	4.00	6.00
Peso del martillo (lb)	5.50	5.50	5.50	5.50	10.00	10.00	10.00	10.00
Altura de la gota del martillo (in)	12.00	12.00	12.00	12.00	18.00	18.00	18.00	18.00
Numero de capas de suelo	3.00	3.00	3.00	3.00	5.00	5.00	5.00	5.00
Numero de golpes por capa	25.00	56.00	25.00	56.00	25.00	56.00	25.00	56.00
Muestra de suelo que pasa por el tamiz N°	N°4	N°4	3/4 in	3/4 in	N°4	N°4	3/4 in	3/4 in

Tabla 2. Comparación del proctor normal y modificado. Fuente: Soil Mechanics, Laboratory Manual. Braja M. Das

7.5 ENSAYO DE CORTE DIRECTO

El estudio de la resistencia al corte es fundamental para la Mecánica de Suelos, ya que se analiza la estabilidad que puede tener una masa de suelos al estar sometida a diferentes tipos de esfuerzos. Para la comprensión de tales fenómenos, en primera instancia fue estudiada por Coulomb en 1766, quien plantea una ecuación basado en la ley de fricción de Amont y en experiencias empíricas. Pero al aplicar dicha ecuación para el diseño de estructuras de suelo, esta no daba buenos resultados. Para solucionar dichos inconvenientes Terzaghi plantea el principio de los esfuerzos efectivos en la ecuación de Coulomb, el cual dice que el agua contenida en una masa de suelo no ofrece gran resistencia a los esfuerzos cortantes, y que solo la fricción producida entre las partículas de suelo es la responsable de la resistencia al corte de una masa de suelo. La magnitud de esta de la fricción entre las partículas de suelo es asumida por los esfuerzos efectivos que tiene una masa de suelo.¹⁴

La resistencia al corte, o resistencia al esfuerzo cortante se define como “el valor máximo o limite, de la resistencia al corte que se puede inducir dentro de una masa de suelo antes que esta falle”¹⁵ Este valor máximo de resistencia al corte es importante en el análisis y estudio de los problemas de “estabilidad de taludes, capacidades de carga y presiones laterales sobre estructuras de retención”¹⁶.

$$\tau_f = f(\sigma)$$

Ecuación 1. Mohr

¹³ (INV-E-142-13, 2014)

¹⁴ (Villalaz, 2004)

¹⁵ (Rodríguez, 1973)

¹⁶ (Das, 2001)

Donde se expresa que mediante una “combinación de esfuerzos críticos tanto normales como cortantes”¹⁷ presentes en una masa de suelo pueden causar un plano de falla. Este plano de falla al ser graficado arrojará una línea curva; para la cual será difícil determinar su ángulo de fricción (pendiente de la gráfica) y su cohesión (punto de corte con el eje y, es decir el eje de los esfuerzos cortantes); por esta razón Coulomb plantea la ecuación 2, la cual al ser graficada arroja una función lineal, que permite facilitar simplificar los cálculos del ángulo de fricción y de la cohesión, al tener una gráfica de función lineal.

$$\tau_f = c + \sigma \tan \phi$$

Ecuación 2. Mohr - Coulomb

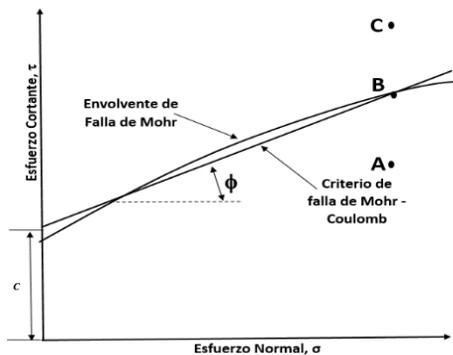


Figura 10. Envolvente de falla de Mohr y los criterios de falla de Mohr – Coulomb. Fuente: Fundamentos de ingeniería geotécnica, Brajas M. Das, Pag 208

La interpretación de los puntos observados en las envolventes de fallas de la figura 8, se puede explicar de la siguiente manera: “el punto observado por debajo de la envolvente de falla, producto de una combinación de esfuerzos cortantes y normales; indica que, sobre este plano de la masa de suelo, no se ha presentado la falla de corte a lo largo de este plano.

Pero si el punto se encuentra sobre la envolvente de falla, como se observa para el punto B, la combinación de estos esfuerzos normales y cortantes es crítica, ya que a lo largo de ese plano ocurrirá una falla por cortante. Y para un punto cuya combinación de esfuerzos arroje que se encuentra por encima de esta

envolvente de falla, no se podría dar un análisis ya que la falla ya habría ocurrido antes de llegar a tal punto¹⁸.

Actualmente existen diferentes métodos que representan la resistencia al corte en una masa de suelo. Uno de estos es el ensayo de corte directo; el cual consiste en extraer de una masa de suelo un prisma, que será colocado en un molde dividido en dos mitades. Tanto en la parte superior como inferior de este molde que contiene la muestra de suelo, se deberá colocar unas placas acanaladas y unas piedras porosas. Ya teniendo esta especie de emparedado en un solo conjunto, se dispondrá a colocarlo en la recámara de corte; en donde en la parte superior se le aplicará una fuerza normal mediante un suspensor estático de pesas. Retirados previamente los tornillos que tiene sujetas ambas partes del molde que contiene la muestra, se aplicará en la parte superior del molde una fuerza cortante, que será medida mediante un transductor de carga. El anterior procedimiento se deberá repetir para varios especímenes del mismo tipo de suelo, para tener datos suficientes que permitan calcular los esfuerzos normales y cortantes que se aplicaron en el plano de cizalladura impuesto por la división del molde. Los resultados de esfuerzos

¹⁷ (Das, 2001)

¹⁸ (Das, 2001)

normales y cortantes obtenidos mediante este ensayo servirán para realizar la envolvente de falla, que permitirá determinar la cohesión y el ángulo de fricción de este tipo de suelo.¹⁹

7.5.1 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL ENSAYO DE CORTE DIRECTO

El desarrollo de nuevos equipos en el campo de la resistencia al corte ha hecho que evidencien algunas falencias propias del ensayo de corte directo; entre las más significativas se encuentran las siguientes: el molde usado para la ejecución de este ensayo sujeta al espécimen a un plano de falla predeterminado; del mismo modo el área del espécimen cambia durante la ejecución del ensayo, transformando así el valor de los esfuerzos componentes de la envolvente de falla; por último los resultados obtenidos en este ensayo se ven altamente influenciados por la preparación de la muestra.

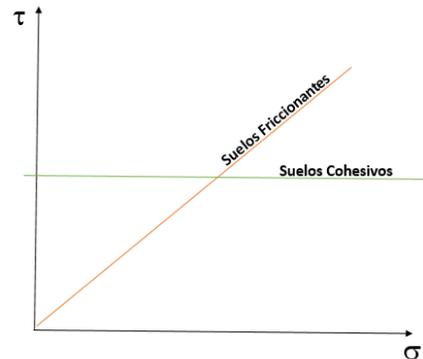


Figura 11. Esfuerzo cortante vs Esfuerzo principal Fuente: Propia

Al analizar los anteriores argumentos, se podría inferir como mala práctica ingenieril el uso del ensayo de corte directo; cayendo así en una mala interpretación de los anteriores argumentos expuestos. Ya que se ha encontrado que los parámetros de resistencia al corte obtenidos durante la ejecución de un ensayo de corte son tan confiables como los obtenidos durante la ejecución de un ensayo triaxial.²⁰

7.5.2 PROCEDIMIENTO DE LA PRUEBA DE CORTE

El siguiente procedimiento descrito puede variar en algunos ítems dependiendo del equipo de corte usado para la ejecución de este ensayo. Aclarado lo anterior, en los presentes ítems se plantea el procedimiento general que debe realizar el operario cuando ejecuta un ensayo de corte directo.²¹

- Registre todos los parámetros del espécimen y del molde necesarios para la ejecución del ensayo de corte directo
- Calcule la carga muerta provista para la ejecución del ensayo de corte directo
- Inserte el espécimen en el molde de corte, para ser llevado en conjunto a la máquina de corte
- Exponga el espécimen al proceso de consolidación requerido por el tipo de suelo, al cual se le esté realizando el ensayo de corte

¹⁹ (Villalaz, 2004)

²⁰ (Bowles J. E., 1981)

²¹ (Rodríguez, 1973)

- Mueva los micrómetros y las celdas de carga en las posiciones dispuestas por el equipo para el registro de las deformaciones normales y tangenciales durante la ejecución del ensayo.
- Retire los tornillos que fijan las dos partes del molde de corte
- Verifique que no exista un contacto entre las partes del molde de corte
- Inicie el proceso de corte aplicando la fuerza tangencial a la parte móvil del molde
- Si el equipo de corte es controlado por esfuerzos; el ensayo termina cuando se presenta la falla en el espécimen; de lo contrario el ensayo se dará por culminado tan pronto el espécimen alcance una deformación del orden del 10% de la longitud de la muestra.

7.5.3 PARÁMETROS DE RESISTENCIA DEL SUELO MEDIANTE COMPRESIÓN TRIAXIAL

La prueba de compresión triaxial se realiza envolviendo en una membrana impermeable un espécimen cilíndrico del suelo que se desea probar, cuyas bases quedan en contacto con cabezas sólidas equipado de piedras porosas que sirven de filtro; los filtros están conectados a tubos delgados compuesto de válvulas que permiten manejar la salida y entrada del agua a la muestra. Dichos tubos de drenaje están conectados a una bureta graduada mediante la cual se puede conocer el volumen de agua expulsado o absorbido por el suelo. La unión entre la membrana y las cabezas se ata con una cinta elástica para garantizar un sello hermético. Todo el conjunto queda encerrado en una cámara que se conecta a un tanque de agua a presión. La tapa superior de la cámara es atravesada por un vástago delgado que pasa por un depósito de grasa a presión, el que evita las fugas de agua a lo largo de la pared del vástago y reduce a un mínimo de fricción de esta contra la tapa.²² A diferencia del ensayo de corte directo, en el ensayo triaxial la envolvente de falla se obtiene mediante la unión de los puntos de los círculos de Mohr tangentes a las envolventes de falla. El diámetro de cada círculo de Mohr corresponde al esfuerzo desviador, el cual se calcula como la diferencia entre el esfuerzo principal mayor y el esfuerzo principal menor.

7.5.4 COMPRESION SIMPLE

Este tipo de ensayo se basa en la aplicación de una carga axial sobre un espécimen de suelo para la generación de una falla. Esta prueba se ejecuta en condiciones no consolidadas no drenadas.²³ Y teóricamente esta prueba se puede dividir en dos etapas.

En la primera etapa de esta prueba, el espécimen no presenta esfuerzos exteriores. En la segunda etapa se aplica una fuerza axial sobre el espécimen, llevando este a desarrollar un plano de falla. Este ensayo es usado en la mecánica de suelos para medir la sensibilidad de una estructura de suelo a la deformación.²⁴

²² I.N.V. E – 153 – 07

²³ (Juarez, 1973)

²⁴ (Das, 2001)

8. PROCEDIMIENTO PARA LA EJECUCIÓN DE UN ENSAYO DE CORTE EN LA MAQUINA DIGITAL DIRECT / RESIDUAL SHEAR APPARATUS COMPLETE WITH LEVER LOADING ASEEMBLY 110-120V 50/60 HZ 1PH

8.1 NORMAS GENERALES DE LABORATORIO

- Para ingresar al laboratorio los usuarios deberán presentar el carnet vigente que los acredite como estudiantes o en caso de personas particulares deberán portarlo en un sitio visible.
- No se puede fumar, comer, o beber dentro del laboratorio.
- El laboratorio estará disponible durante el horario habitual de clases, siempre y cuando el profesor del curso o auxiliar de laboratorio se encuentre presente.
- Revisar el equipo que se le entregue al iniciar la práctica y notificar de inmediato al funcionario encargado, sobre cualquier irregularidad que se descubra en el equipo o cualquier elemento o insumo asignado para la práctica y consignado en el formato de control de inventario de laboratorio de ingeniería civil.
- Mantener orden y limpieza del laboratorio durante la práctica y su culminación; además utilizar adecuadamente los recipientes para la disposición de desechos y recolección de materiales sobrantes.
- Utilizar los espacios únicamente para las actividades del laboratorio
- Usar bata blanca y todos aquellos elementos de seguridad e higiene indicados por el coordinador del laboratorio y docente respectivo.
- Se deberá ingresar al laboratorio con zapato cerrado y pantalón largo.
- No se deberá ingresar al laboratorio portando bolsos, maletines y cualquier elemento que no forme parte de la práctica.
- Las ventas de cualquier tipo quedan prohibidas dentro del laboratorio.
- Queda prohibido retirar muestras, reactivos, insumos y equipos pertenecientes a la universidad, sin previa autorización escrita del coordinador del laboratorio

8.2 NORMAS DE SEGURIDAD PARA EL USO DE LAS INSTALACIONES Y EQUIPOS DEL LABORATORIO DE GEOTECNIA

- Es recomendable evitar el uso de herramientas de mala calidad o en mal estado.
- Usar los equipos de protección personal como bata, guantes, gafas, caretas, etc.
- La manipulación de herramientas no debe realizarse por personas inexpertas. Asegúrese de familiarizarse y saber cómo usarlas.
- Acatar las normas generales del laboratorio.
- Utilizar la máquina y/o herramienta correcta para cada tipo de trabajo. Nunca usar máquinas o herramientas para lo cual no han sido diseñadas.
- Los protectores de las herramientas mecánicas nunca deben quitarse. Nunca quite un protector cuando una herramienta está siendo usada.
- Los trabajos que requieren la aplicación de mucha fuerza se deben realizar con un bajo ritmo de trabajo.
- Cuando se usan herramientas cortantes, la presión y movimientos del corte deben hacerse hacia afuera y nunca hacia el cuerpo.
- En caso de visualizar movimientos o la aparición de chispas y arcos eléctricos, percibir olores extraños, un calentamiento anormal o sensación de descarga, y/o escuchar ruidos extraños en las máquinas, se deberá apagar de inmediato la máquina, desenergizarla y seguidamente informar al instructor y/o coordinador de laboratorio.
- Evitar un inadecuado almacenamiento y transporte de las herramientas, protegiendo las puntas y filos. No almacenar herramientas corto-punzantes en los bolsillos.

8.3 INFORMACIÓN DE LA MÁQUINA

○ **EL EQUIPO DIGITAL DIRECT / RESIDUAL SHEAR APPARATUS COMPLETE WITH LEVER LOADING ASSEMBLY 110-120V 50/60 HZ 1PH**

El aparato de corte directo ELE acepta especímenes de 2,5 in de diámetro. El uso de un sistema de accionamiento controlado por un microprocesador y entrada de teclado que le da al aparato una amplia gama de características que incluyen pausa y restablecimiento de velocidad durante la prueba, una interfaz RS 232C, programación del operador de funciones de velocidad y control, autodiagnóstico y muchas otras características. Un retorno al datum de inicio proporciona un medio positivo para invertir el shearbox cuando se prepara para una nueva prueba o continua con los procedimientos de análisis residual.

Los interruptores de fin de prueba están instalados en serie y supervisados a través del control del sistema electrónico.

El panel de control está alojado en una cubierta moldeada moderna, que incluye una gran pantalla LCD y entrada de teclado. El aparato está encerrado en una caja robusta, ha sido diseñado para montaje en el suelo y se suministra completo con carro, soporte de carga y dispositivo de carga de palanca de 10: 1.

○ **ESPECIFICACIONES**

- Descripción: Aparato de corte digital directo / residual con voltaje de alimentación 220-240 V 50/60 Hz.
- Carga Vertical: 2.200 lbf
- Normas permitidas:
 - ASTM D3080 Sí
 - AASHTO T236 Sí
 - BS 1377 Sí
 - EN 1997-2 Sí
- Tamaño de la muestra: Acepta 2.42", 2.5" diámetro.
- Rango de velocidad: Variable en unidad inglés o métrica entre 0,000001" (0,00001 mm) a 0,399999" (9,99999 mm) por minuto.
- Fuerza de corte: 1,100 lbf. (5,0 kN) máximo.
- Carga Vertical 2,200 lbf. (10,0 kN) usando una relación de palanca de 10: 1.
- Dimensiones 44.7" l. x 12,6" w. x 49,6 " h. (1.135 x 320 x 1.260 mm).
- Peso: 181 libras. (82 kg).

8.4 MANUAL DEL USUARIO

Paso 1. Conexión de los equipos a una fuente de energía

Se debe revisar por parte del operario la conexión de la máquina de corte a una fuente de energía que proporcione un voltaje de 110 a 120v, como se muestra en la *Figura 12*. Luego debe conectar el computador y el Data Logger; a una fuente de energía de 115v (ver *Figura 13*).

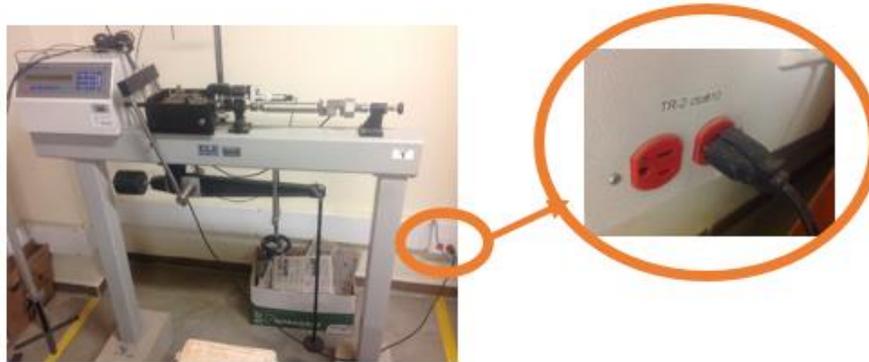


Figura 12 Conexión de la máquina a una fuente de energía Fuente: Propia

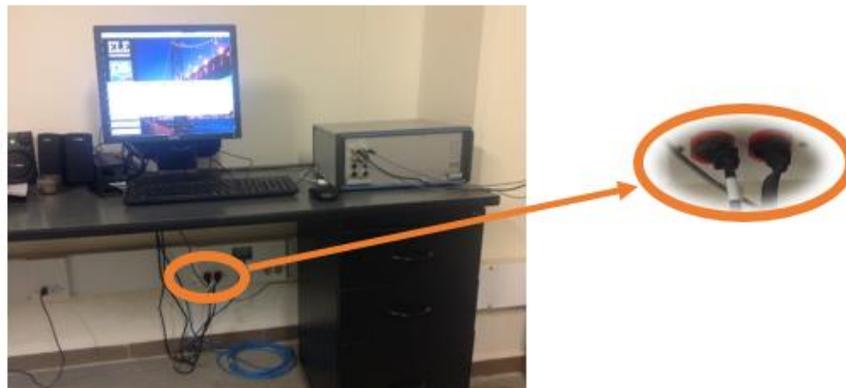


Figura 13 Conexión del computador y del Data Logger a una fuente de energía Fuente: Propia

Paso 2. Preparación del espécimen de estudio

Preparar con anterioridad a la ejecución del ensayo de corte el espécimen. La preparación del mismo se debe realizar siguiendo los lineamientos estipulados en la norma INVE-104 establecida para la toma de muestras de forma inalterada; o para la toma de muestras alteradas.



Figura 14 Espécimen de corte Fuente: Propia

Paso 3. Registro de datos que caracterizan el espécimen

Cuando el operario cuente con el espécimen de estudio, en las condiciones a las cuales quiere conocer sus propiedades de corte, deberá seguidamente registrar la altura y el peso del espécimen, sin que en éste se tenga en cuenta el peso del molde (Figura 15, 16 y 17).



Figura 16 Registro de la altura del espécimen. Fuente: Propia

Figura 15 Registro del peso del espécimen con su molde. Fuente: Propia



Figura 17 Registro del peso del molde. Fuente: Propia

Paso 4. Armado de la recámara de corte

Para el armado de la recámara de corte; el operario debe insertar en la parte inferior de la recámara de corte la placa metálica circular que se muestra en la Figura 18. Después de este procedimiento, se coloca encima de la placa ranurada, una piedra porosa, como se muestra en la Figura 19. Luego se emplaza la parte superior de la recámara de corte con la inferior, teniendo en cuenta que las hendiduras resaltadas en la Figura 20, se encuentren en el mismo costado. Finalmente se debe restringir el desplazamiento de las recámaras entre sí ajustando los tornillos, tal como se muestra en la Figura 21.

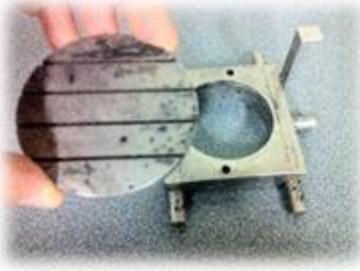


Figura 18. Emplazamiento la placa ranurada a la parte inferior de la recamara de corte. Fuente: Propia

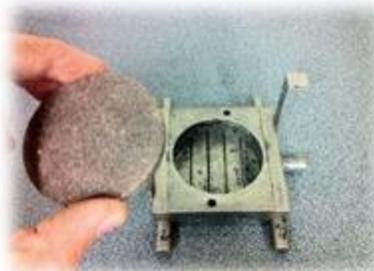


Figura 19. Emplazamiento de la piedra porosa sobre la placa ranurada. Fuente: Propia



Figura 20. Emplazamiento de la parte superior de la recamara de corte con la inferior. Fuente: Propia

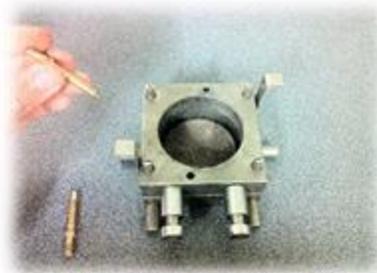


Figura 21 Restricción del movimiento de la recamara al fijar los tornillos. Fuente: Propia

Paso 5. Procedimiento para introducir la muestra dentro de la recamara de corte

Una vez fijados los tornillos en la recámara de corte, se debe disponer el molde en la parte superior de la recamara de corte y entre los tornillos que fijan la misma, tal como se observa en la *Figura 22*. Una vez culminado este proceso, se ejerce presión sobre la muestra, mediante el uso del cilindro de caucho mostrado en la *Figura 23*, para introducir la muestra dentro de la recamara de corte. Luego de haber introducido la muestra en la recamara de corte, el operario debe colocar una piedra porosa encima del espécimen, como se muestra en la *Figura 24*; y sobre está colocar la almohadilla de presión que se muestra en la *Figura 25*.



Figura 22 Disposición del espécimen sobre la recamara de corte. Fuente: Propia



Figura 23 Presión sobre el espécimen de suelo. Fuente: Propia



Figura 24 Disposición de la piedra porosa sobre el espécimen. Fuente: Propia



*Figura 25 Almohadilla de presión.
Fuente: Propia*

Paso 6. Disposición de la recámara de corte en la máquina de corte directo digital Direct / Residual Shear Apparatus complete with Lever Loading Asembly 110-120v 50/60 hz 1ph

Para la disposición de la recámara de corte en la máquina, se debe mover la recámara de corte hacia la máquina, tal como se observa en la *Figura 26*. La disposición de la misma en la maquina se debe realizar teniendo cuidado siempre de disponer el lado en el que se encuentra las fisuras de la recámara hacia el lado derecho de la máquina de corte, *Figura 27*. La siguiente acción a seguir es el ajuste de los tornillos que se encuentran en el lado derecho de la máquina, como se describe en la *Figura 28*.

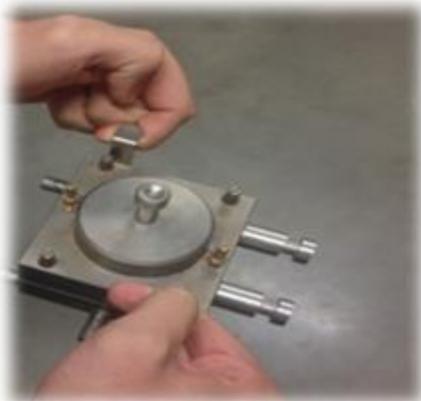


Figura 26 Forma adecuada para el traslado de la recámara. Fuente: Propia



Figura 27 Disposición de la recámara en la máquina de corte. Fuente: Propia



Figura 28 Ajuste de los tornillos laterales de la máquina de corte. Fuente: Propia

Paso 7. Calibración de la máquina corte

Para calibrar la máquina de corte, el operario debe girar la manivela que se encuentra en la parte inferior de la máquina, en contra de las manecillas del reloj; para que se eleve el brazo que transmite la carga al espécimen, como se muestra en la *Figura 29*. Una vez elevado el brazo de carga, este debe disponerse de tal forma que embone con la parte superior de la almohadilla de carga, *Figura 30*; para esto, se debe hacer girar la manivela en el sentido de las manecillas del reloj, que permita el descenso del brazo de carga sobre la almohadilla de carga. Para finalizar la ejecución de este paso se requiere posicionar el deformímetro vertical, tal como se describe en la *Figura 31*.

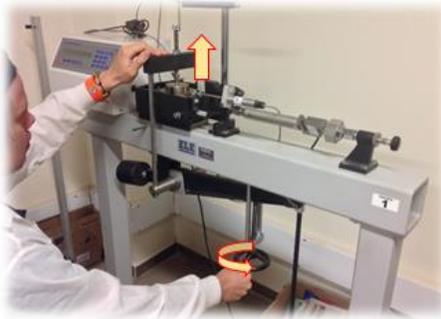


Figura 29. Elevación del brazo de carga. Fuente Propia



Figura 30. Posicionamiento del brazo de carga con respecto a la almohadilla de presión. Fuente: Propia

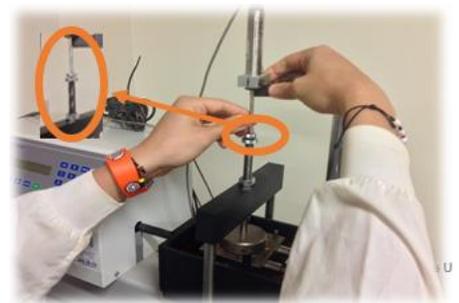


Figura 31. Disposición del deformímetro con respecto al brazo de carga. Fuente: Propia

Paso 8. Manejo del software

Paso 8.1. Ingreso a la interfaz del software DS7p1

Para el manejo del Software DS 7p1 Application, el operario en primera instancia debe buscar el software dando click en el botón de inicio, demarcado en la *Figura 32*. Allí debe dar click en el logo demarcado en la *Figura 32*, correspondiente al programa DS7p1. Una vez realizado este procedimiento, se abrirá la interfaz que se muestra en la *Figura 33*.

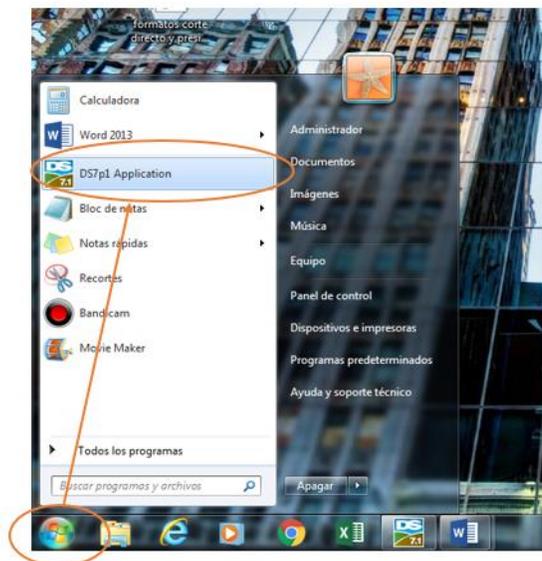


Figura 32 Búsqueda del software DS7.1. Fuente: Propia



Figura 33 Interfaz del software DS7.1. Fuente: Propia

Paso 8.2. Selección del ensayo a ejecutar

Al ingresar a la interfaz mostrada en la *Figura 34*, se observa en la parte inferior izquierda un botón que dice “New Test”, como se muestra en la *Figura 34*; el operario le debe dar click a este, con el fin de ejecutar un nuevo ensayo. Luego, aparece la interfaz mostrada en la *Figura 35*, donde debe seleccionar la opción “Shear Direct”. Esta acción se debe realizar con el fin de seleccionar la maquina con la cual se va a ejecutar el ensayo. Posterior a la selección del tipo de ensayo a ejecutar, se deberá dar click al botón: “Select a machine for the test”, que se muestra resaltado en el ovalo naranja, esta acción se hace con el propósito de escoger la maquina con la que se va a realizar el ensayo *Figura 35*.

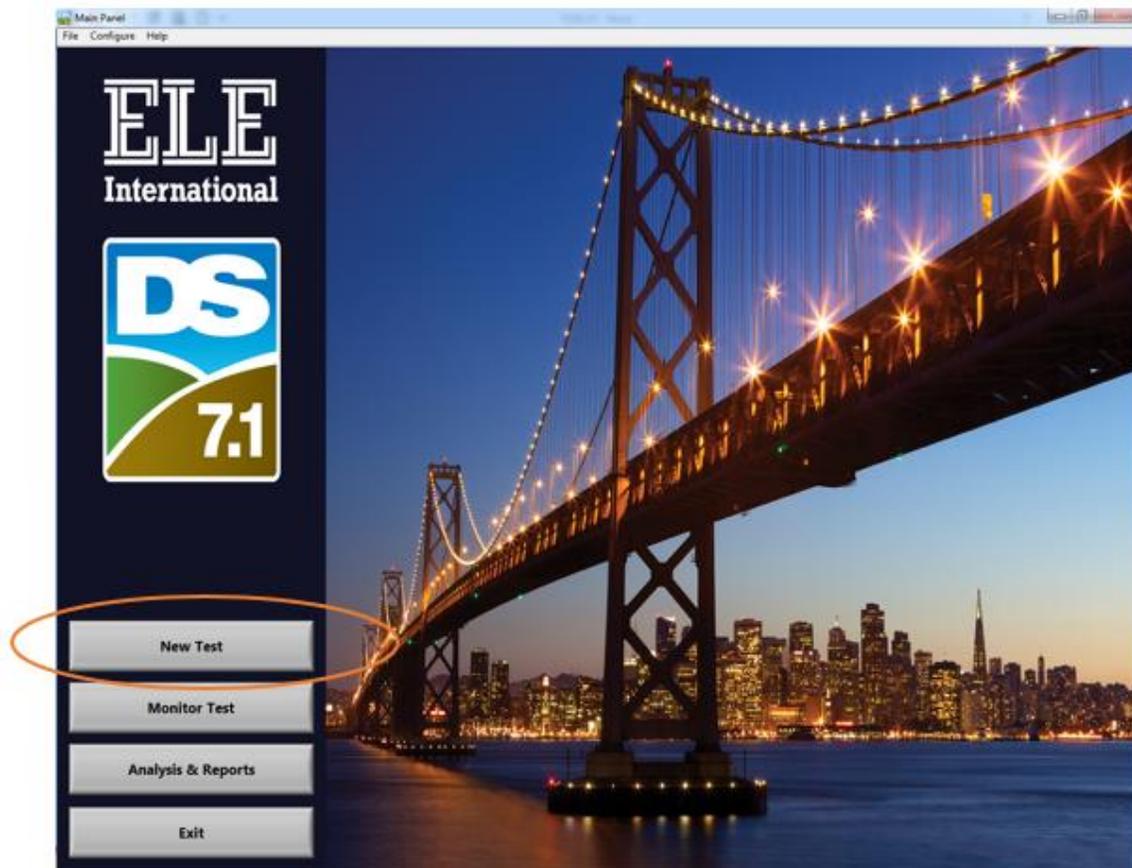


Figura 34 Selección de un nuevo ensayo. Fuente: Propia

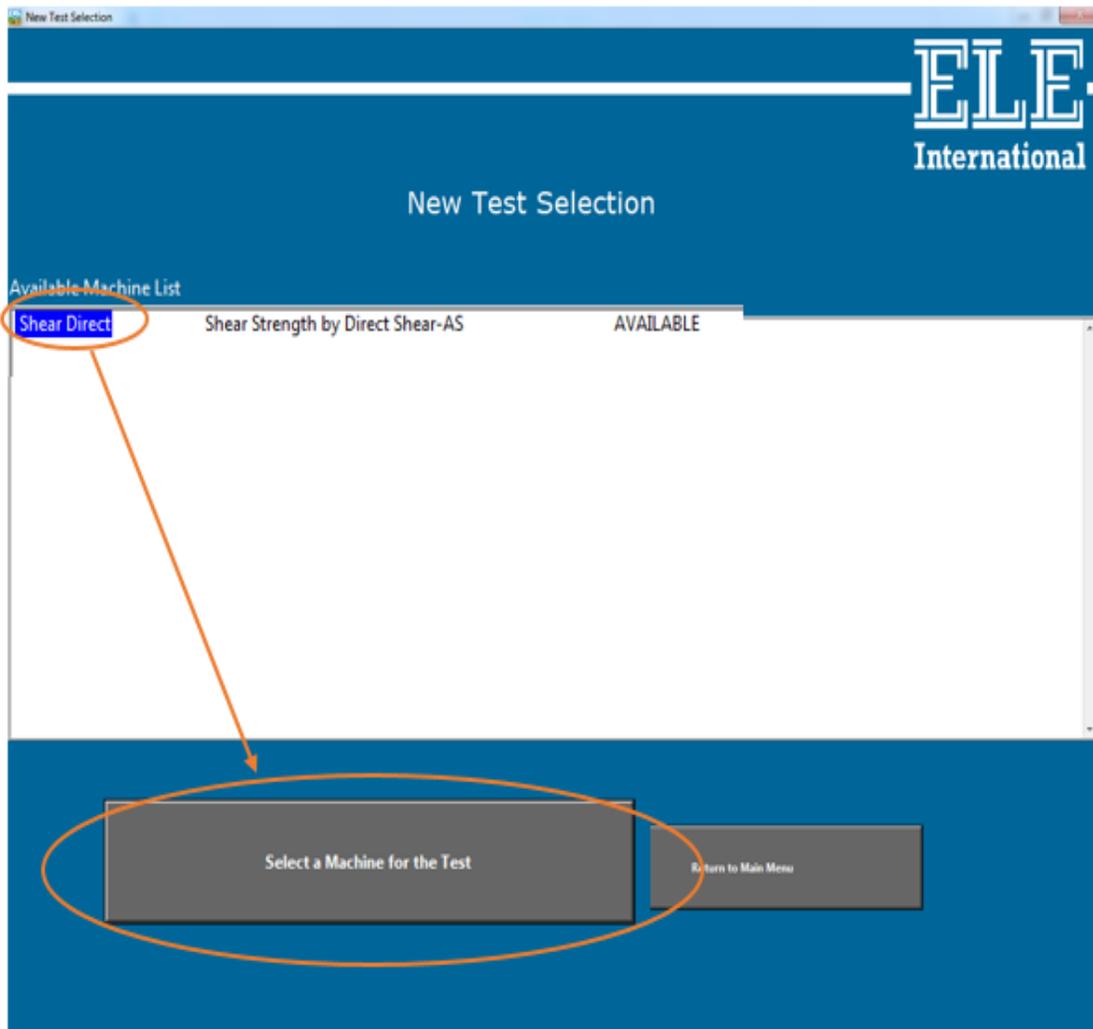


Figura 35 Selección del tipo de ensayo a ejecutar. Fuente: Propia

Paso 8.3. Parámetros para la creación de un informe

Al haber dado click, en el paso anterior a la opción "Select a machine for the test", se abre la interfaz gráfica que se muestra en la *Figura 36*. Donde se deberá diligenciar los cuatro rótulos resaltados e identificados cada uno con las siguientes letras: a, b, c y d. En el orden anteriormente enunciado para estos rótulos se debe diligenciar la siguiente información: el nombre del proyecto en a, el número del ensayo a ejecutar en b, la carga a la cual va hacer ensayado en espécimen en c y por último, el operario debe seleccionar una de las opciones que se despliegan al dar click en d; esto permitirá que el software referencie a este tipo de muestra con la letra asignada. Después de haber diligenciado cada uno de los rótulos

enunciados, el operario deberá dar click al botón de “OK”, guardando así la información correspondiente a la muestra en estudio.

Figura 36 Interfaz gráfica para crear un informe. Fuente: Propia

Paso 8.4. Selección de las etapas del ensayo de corte directo

Después de haber realizado el procedimiento anterior, aparecerá en el monitor la interfaz que se muestra en la *Figura 37*. En esta, el operario deberá seleccionar la opción “Shear Direct-Shear Strength by Direct Shear - AS - BETWEEN STAGES”, para seleccionar la ejecución del corte por etapas. Luego de haber hecho esto, deberá el operario dar click en el botón de “OK”, con el fin de aceptar el anterior procedimiento realizado.

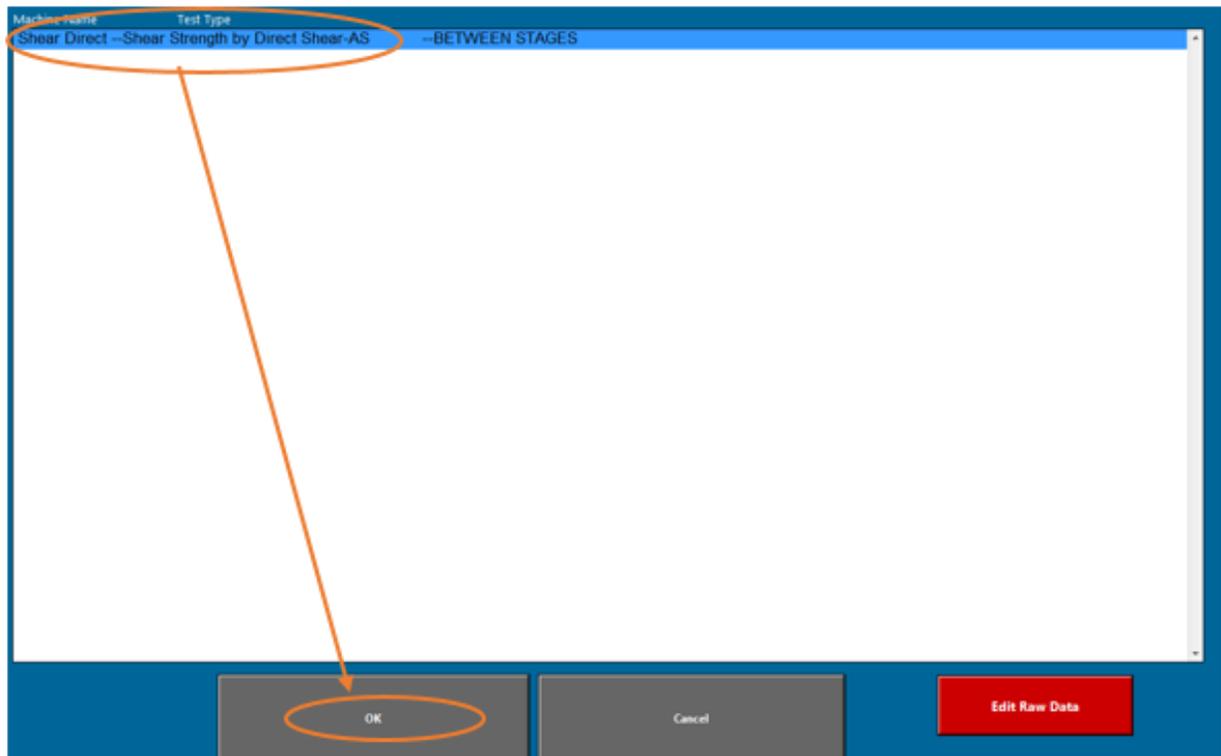


Figura 37 Selección del ensayo de corte por etapas. Fuente: Propia

Paso 8.5. Registro de datos

Una vez ejecutado el anterior paso, debe dar click en el botón “Start test Stage” con el fin de dar inicio a las etapas del ensayo de corte, tal como se muestra en la interfaz gráfica en la *Figura 38*. Al dar click en este botón, se desplegará el recuadro que lleva como título “Select a stage from the list”, donde debe seleccionar la opción “Test Initialisation” y dar click en “OK”, para dar comienzo al registro de las dimensiones de la muestra y los esfuerzos normales que se van a usar.

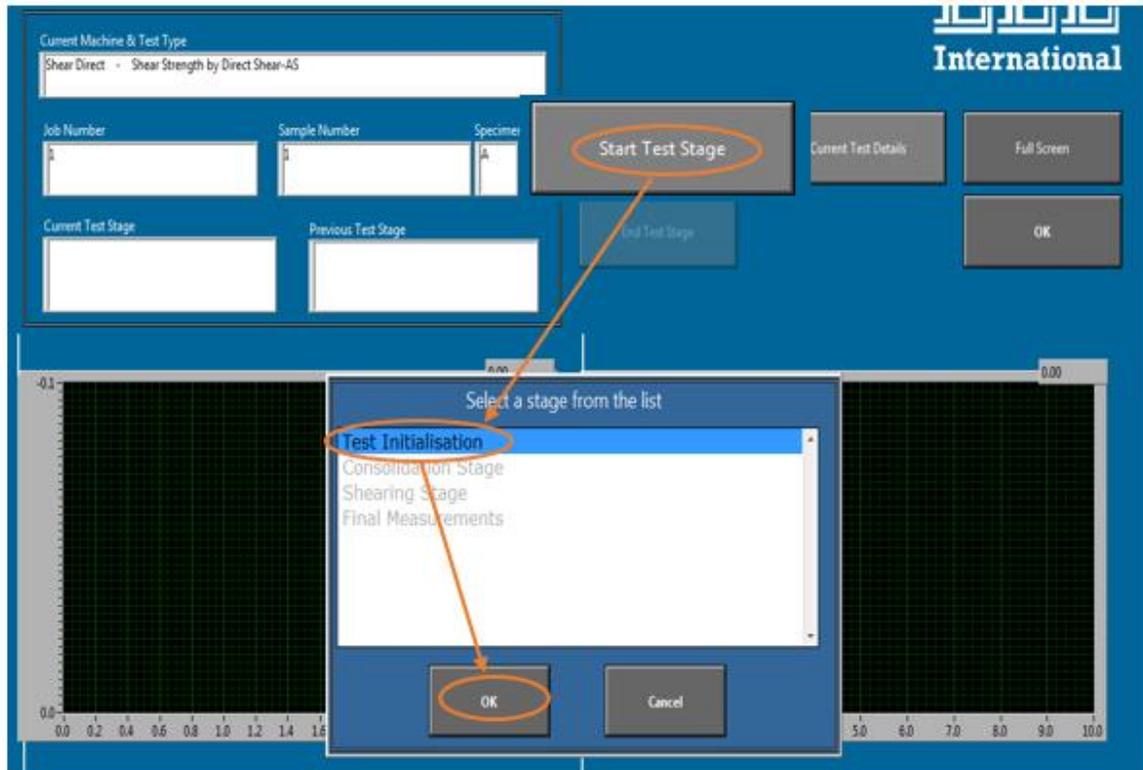


Figura 38 Registro de datos. Fuente: Propia

Una vez se dé click en el botón “OK” mostrado en la *Figura 38*, se desplegará la ventana grafica mostrada en la *Figura 39*. Donde debe diligenciar los datos y condiciones de cizallamiento resaltadas en la *Figura 39*; correspondientes al: peso de la muestra (Sample Weight), la altura de la muestra (Sample Height), especificación de la condición de la muestra (Specimen Condition) y especificación de la carga normal a la cual se va hacer ensayar el espécimen (Lever Weight). Esta carga debe ser definida teniendo en cuenta el

Figura 39 Parámetros requeridos para el cizallamiento del espécimen. Fuente: Propia

esfuerzo normal que se desea transmitir a la muestra. Siendo el peso correspondiente a un esfuerzo normal de 0.5 kg/cm^2 el peso que transmite una placa, el de 1 kg/cm^2 es transmitido por 2 placas y el de 2 kg/cm^2 es transmitido por 4 placas.

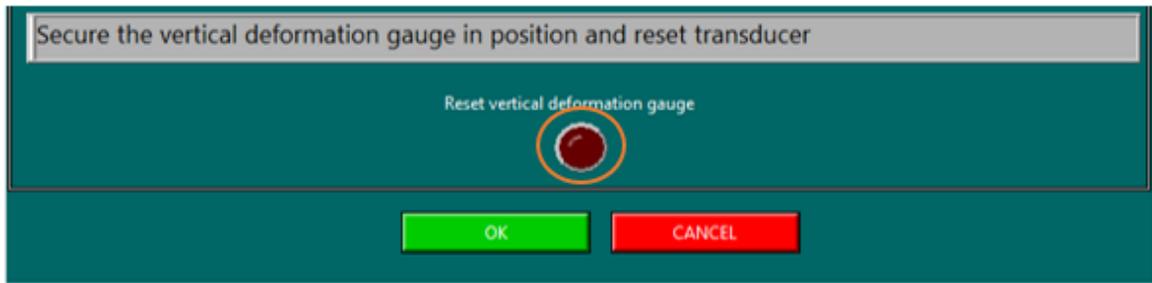


Figura 40 Interfaz para digitar la altura y el peso de la muestra. Fuente: Propia.

Después de haber ingresado los parámetros al software DS7p1, debe dar click en el botón resaltado en la *Figura 40*; esto se debe realizar para que sean borrados los valores correspondientes a los ensayos anteriormente ejecutados. Hecho esto, de click en el botón “OK” mostrado en la *Figura 41*, para la ventana grafica que formula la siguiente pregunta “¿Are you sure you want to reset the following transducer Channel? El operario debe dar clic en este botón para borrar la información almacenada en el transductor vertical de la maquina corte; ya que si esto no se realiza los resultados obtenidos por el transductor de deformación vertical puede verse influenciados por la información almacenada en este

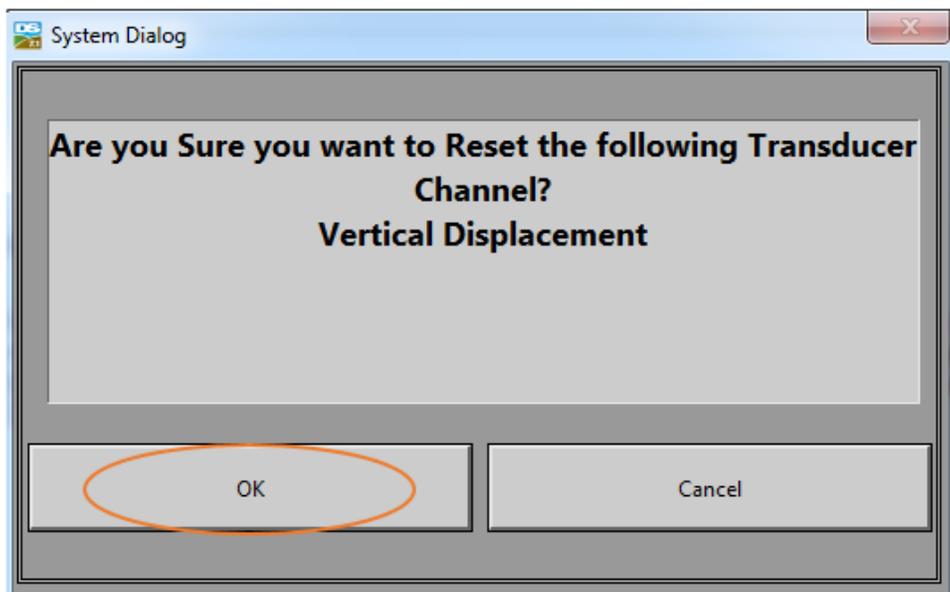


Figura 41 Reinicio de lectura de carga de la deformación vertical. Fuente: Propia

transductor, llevando así a posibles errores en los parámetros de resistencia al corte obtenidos

Paso 8.6. Etapa de consolidación

Para iniciar la etapa de consolidación el operario debe dar click al botón “Start test Stage”, el cual permitirá el despliegue de la ventana grafica que tiene el nombre de “Select a stage from the list”. En esta ventana gráfica, el operario debe seleccionar la opción “Consolidation Stage”; y seguidamente a ello debe dar click al botón de “OK” mostrado en la *Figura 42*. El

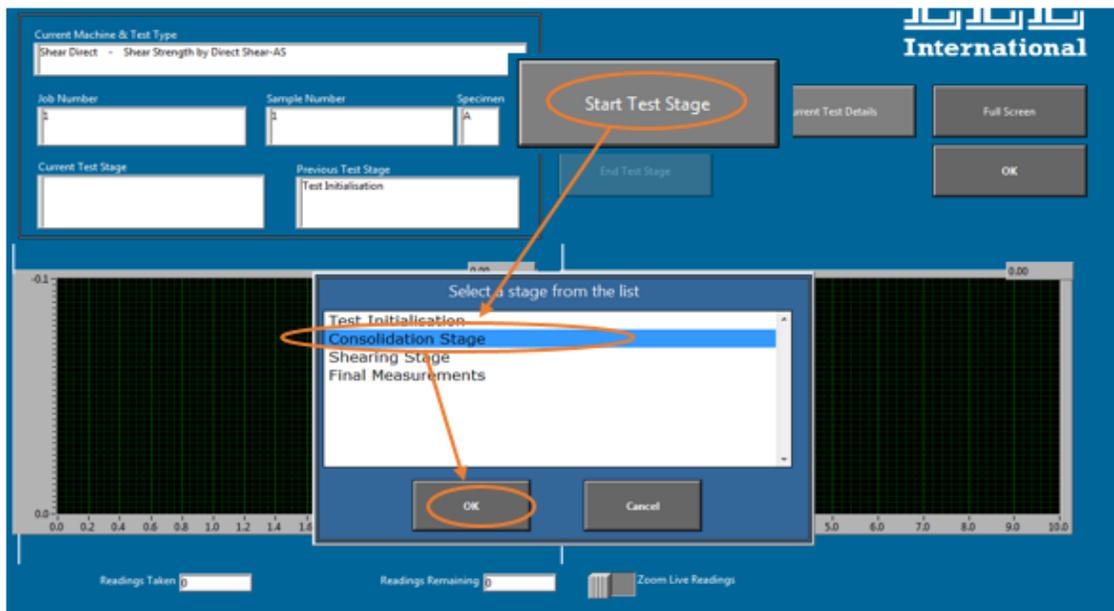


Figura 42 Proceso de consolidación. Fuente: Propia

anterior procedimiento explicado en este paso se debe ejecutar para iniciar el proceso de consolidación en el software DS7p1. Una vez se de click en el botón “OK” de la *Figura 42*, aparecerá la ventana grafica que se muestra en la *Figura 43*. Donde se especifican tres instrucciones que el operario debe cumplir antes de realizar el proceso de consolidación de la muestra en la máquina de corte. Estas tres instrucciones especifican los siguientes lineamientos:

- Disponga en el brazo de carga, el peso equivalente al esfuerzo normal que se quiere generar en la muestra, como se observa en la *Figura 44*.
- Baje el soporte de carga, haciendo girar la manivela en el sentido de las manecillas del reloj, como se muestra en la *Figura 45*.
- De inicio a la etapa de consolidación, dando click en “CONTINUE” de la *Figura 43*.

Después saldrá la interfaz como se muestra en la *Figura 46*, enseguida de ello procedemos a dar click en “Start Test Countdown <ENT>”, al dar click en ese botón se da inicio al proceso de consolidación en el software DS7p1.

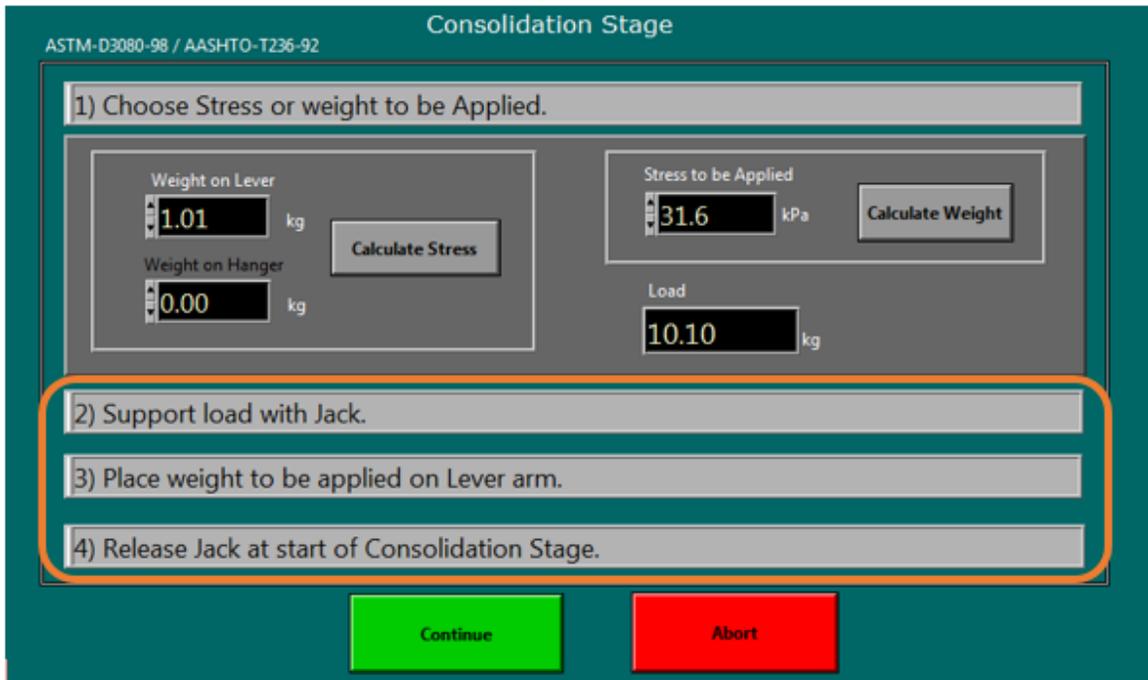


Figura 43 Requisitos previos a la ejecución de la consolidación. Fuente: Propia

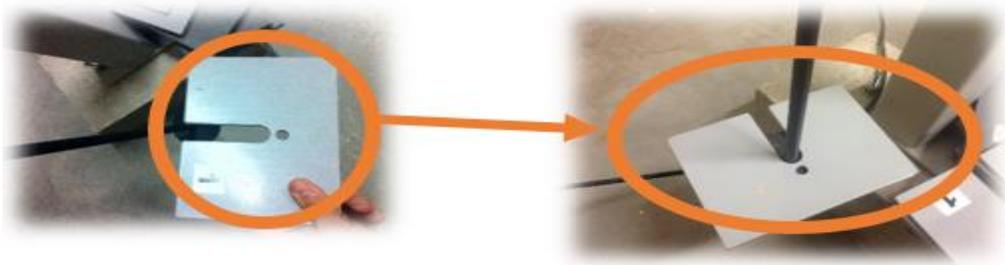


Figura 44 Peso equivalente a la fuerza normal. Fuente: Propia

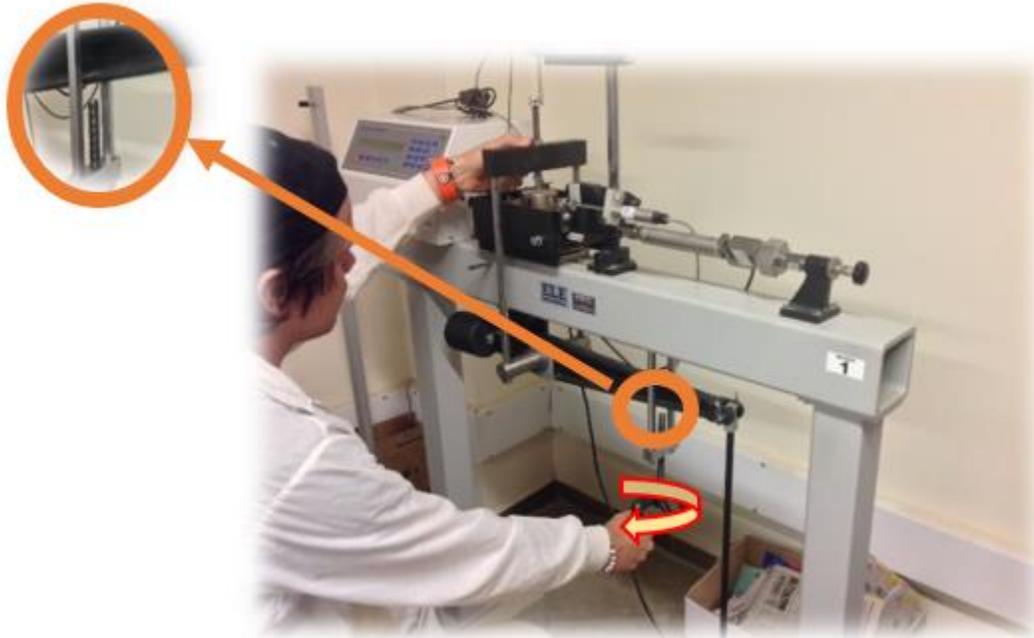


Figura 45 Ubicación del brazo de carga sobre la almohadilla de presión. Fuente: Propia

The Test will start after the
Countdown

Press Enter to Start the Test
Countdown or Escape to Abort

Start Test Countdown <ENT>	Abort Test Stage <ESC>
-------------------------------	---------------------------

Figura 46 Conteo regresivo para bajar la palanca e iniciar el proceso de consolidación. Fuente: Propia

Paso 8.7. Proceso de consolidación del espécimen

Después de haber dado click en el botón “Start Test Countdown <ENT>”, aparecerá la ventana gráfica mostrada en la *Figura 47*. En dicha ventana gráfica, el operario podrá observar el registro de las deformaciones verticales. Dicho registro quedara culminado, cuando se cumpla el tiempo estipulado por la norma ASTM-D2435, donde el operario finalizara el proceso de consolidación al dar click en el botón “End Test Stage”, como se observa en la *Figura 48*.

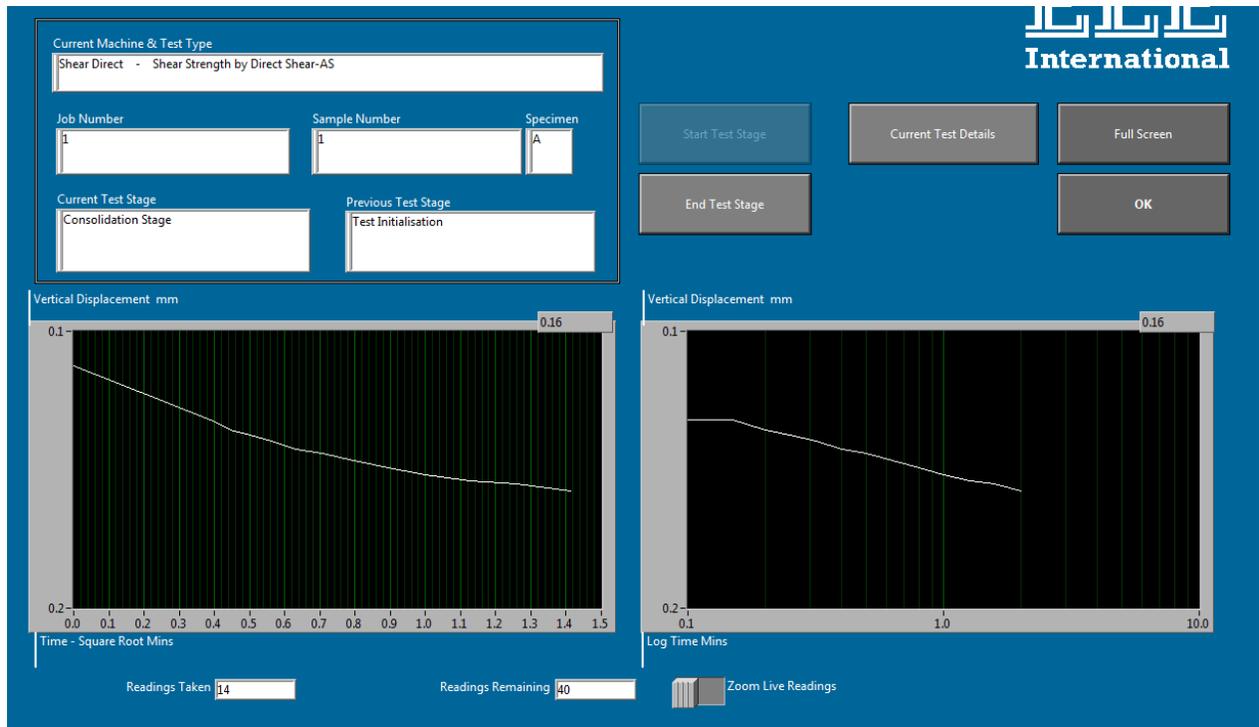


Figura 47 Registro de deformaciones verticales. Fuente: Propia

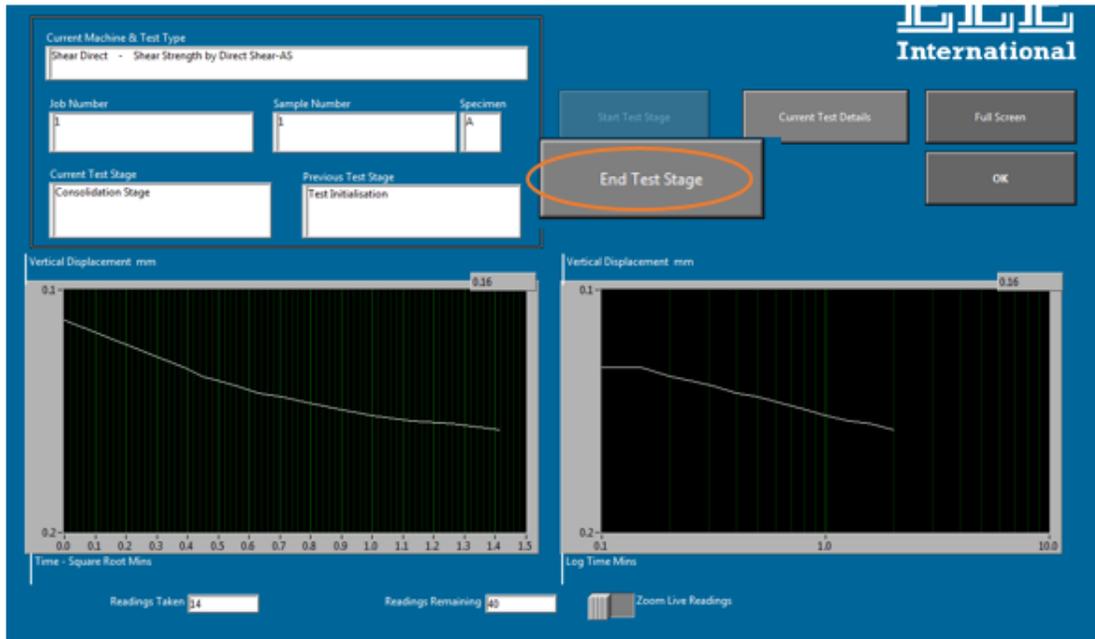


Figura 48 Culminación del proceso de consolidación. Fuente: Propia

Paso 8.8. Proceso de corte del espécimen

Después de haber ejecutado el proceso de consolidación, el operario debe dar click en el botón “Start Test Stage”. Esto permitirá el despliegue de la ventana grafica mostrada en la Figura 49. En esta ventana grafica el operario debe seleccionar la opción “Shearing Stage”; para iniciar el proceso de corte en el software DS7p1. Después de haber ejecutado el

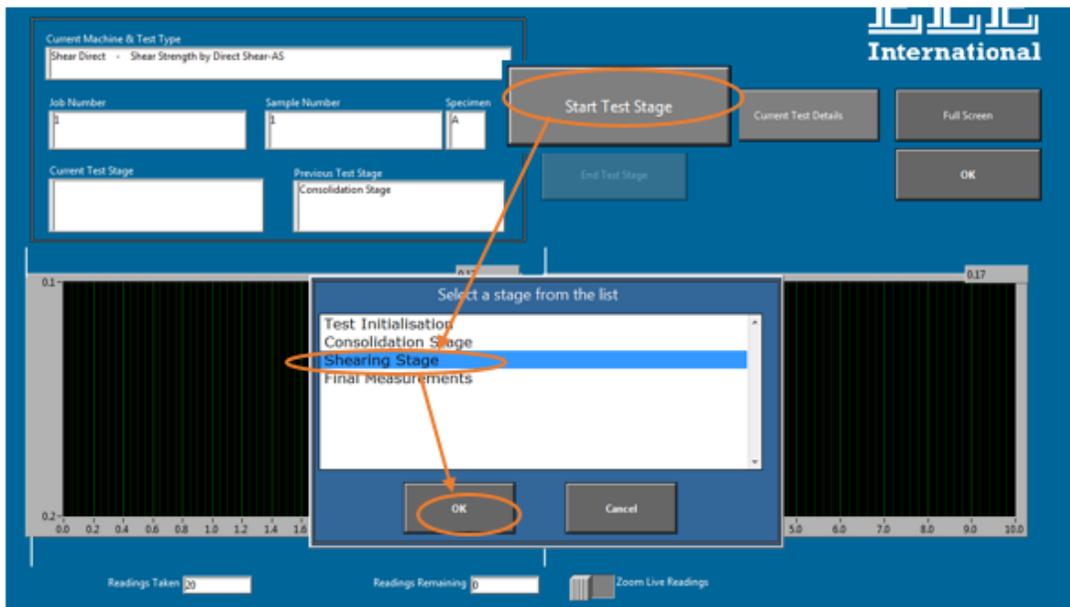


Figura 49 Inicio del proceso de corte. Fuente: Propia

anterior procedimiento el operario debe dar click al botón “OK” mostrado en la *Figura 49*. Al dar click en este botón, se inicia el proceso para la ejecución del ensayo de corte directo en el software DS7p1.

Después de haber dado “OK” en el anterior paso, el operario debe dar click en el botón “Calc Rate of Dsiplacemnet” mostrado en la *Figura 50*, esto permitirá el despliegue de la ventana grafica mostrada en la *Figura 51*. En esta ventana grafica el operario podrá determinar la velocidad de corte con los datos previamente obtenidos en la etapa consolidación de la muestra. Para determinar dicha velocidad el operario debe seguir los lineamientos planteados en la parte inferior de dicha ventana; en los cuales se especifican las siguientes instrucciones:

- Ubique el punto inicial de la línea roja en el inicio de la gráfica trazada con color negro
- Ubique el origen de la cruz verde en la intersección de la línea blanca con la gráfica trazada de color negro

ASTM-D3080-98 / AASHTO-T236-92

1) Press the button to calculate maximum rate of displacement & logging rate: **Calc Rate of Displacement**

Please adjust the rates shown here to actual rates to be used:

Maximum Recommended Rate of Shear Displacement	Minimum Recommended Logging Rate	Estimated Horizontal Shear Deformation
0.0000 mm/	0.000 mm	1.000 mm

Parameters must be greater than zero

2) Remove the clamping screws which lock the two halves of the shearbox.

3) Reset the horizontal & force transducers (Do Not Reset on Reversals) -----> **Reset Transducers**

4) Start shearing the specimen to failure using the rate of shear displacement selected above.

Continue **Abort**

Figura 50 Configuración para los parámetros del ensayo de corte. Fuente: Propia

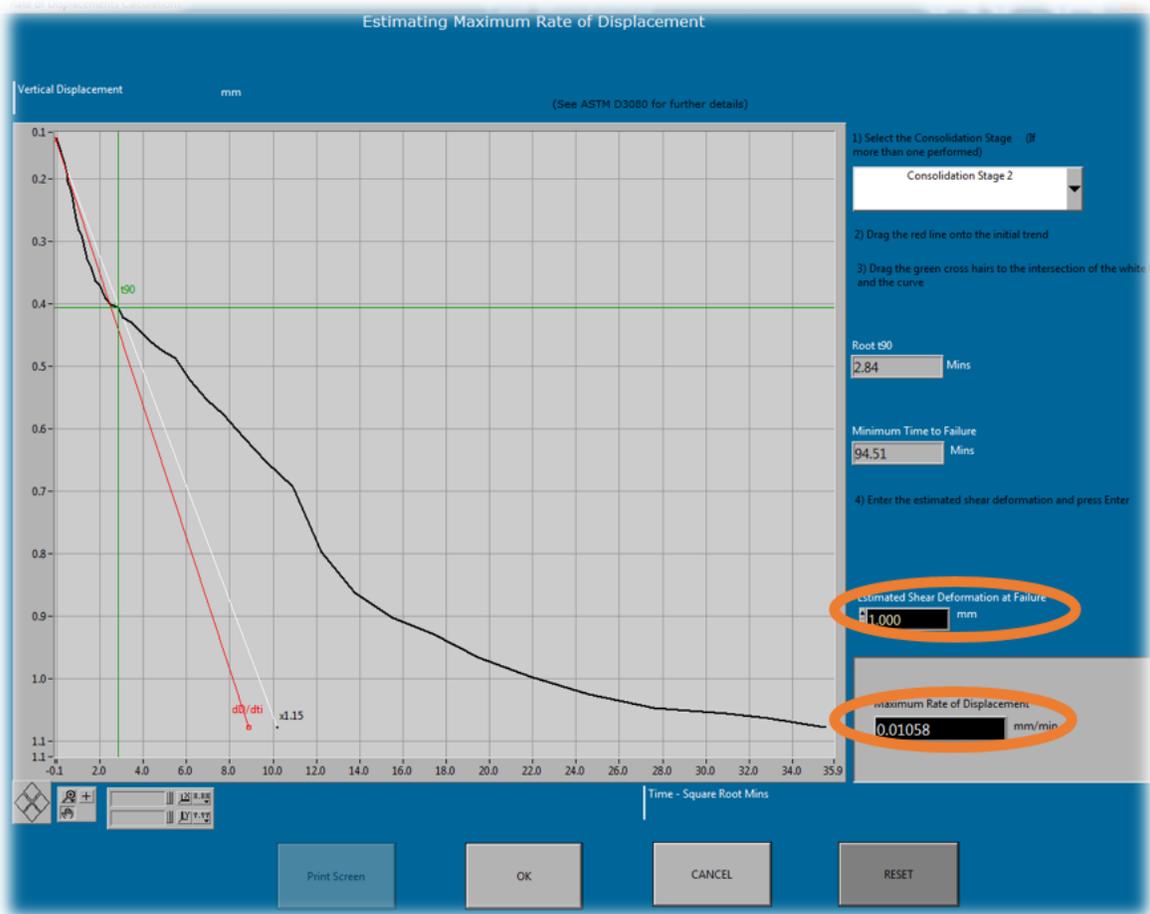


Figura 51 Estimación de la velocidad máxima de corte. Fuente: Propia

Una vez el operario haya ejecutado los anteriores pasos, deberá dar click en el botón de “Ok” mostrado en la Figura 51. Después de haber dado click en este botón, se desplegará la ventana grafica mostrada en la Figura 52, donde el operario podrá observa la velocidad

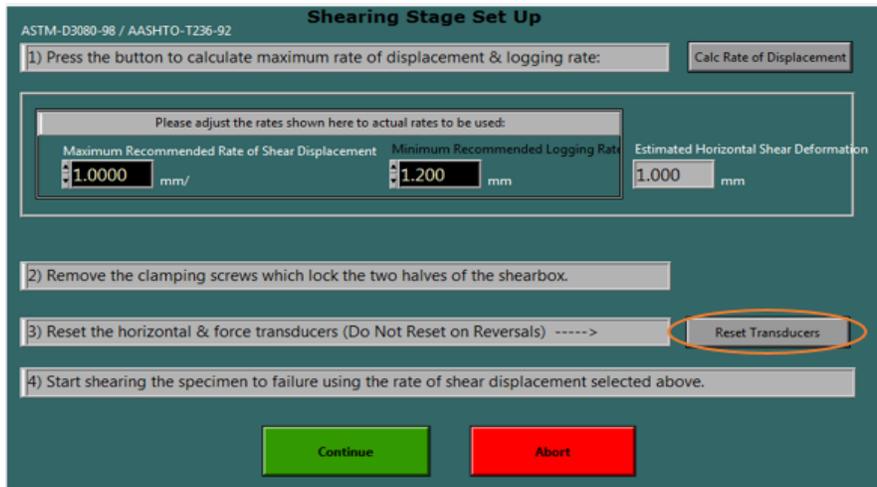


Figura 52 Asignación de velocidad y toma de lectura por mm. Fuente: Propia

con la cual se va a ejecutar el ensayo de corte y el punto de inicio de la lectura de datos con la cual se desea realizar el ensayo; es recomendable que esta lectura de datos inicie a 1.2 mm como se observa en la *Figura 52*.

El operario deberá dar clic en el botón “Reset Transducer”, observado en la *Figura 52*; para reiniciar las lecturas del transductor horizontal y el de la fuerza. Al dar clic en el anterior botón se despliega la ventana grafica observada en la *Figura 53*, donde el operario deberá dar clic en el botón “OK” mostrado en dicha ventana gráfica. El operario al dar clic en el anterior botón eliminara el registro de los desplazamientos horizontales almacenados. Tan pronto como el operario de click en el botón “OK” mostrado en la *Figura 53*, el software desplegará la ventana grafica observada en la *Figura 54*, donde deberá dar click en el botón “OK” para borrar el registro de las fuerzas almacenadas.

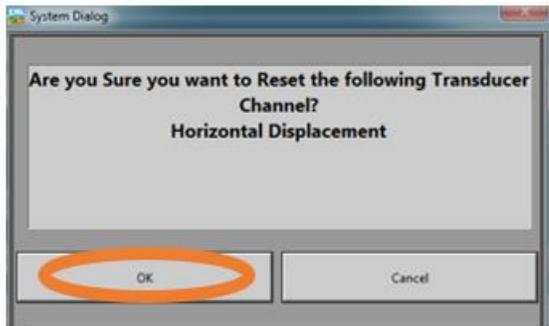


Figura 54. Eliminación del historial de datos correspondientes a los desplazamientos horizontales registrados. Fuente: Propia



Figura 53. Eliminación del historial de datos correspondientes a las fuerzas registradas. Fuente: Propia

Tan pronto el operario borre los registros almacenados por el software; este deberá remover los tornillos que fijan las dos recámaras de corte, como se observa en la *Figura 55*. Una vez se hayan retirado los tornillos, el operario deberá dar inicio al panel de control de la máquina de corte mostrado en la *Figura 56*, donde deberá ingresar la velocidad de corte obtenida en el ensayo de consolidación anteriormente ejecutado, como se muestra en la *Figura 56*.



Figura 55 Retiro de los tornillos de la recámara. Fuente: Propia



Figura 56 Registro de la velocidad de corte en la maquina Digital Shear Machine. Fuente: Propia

Habiendo digitado la velocidad de corte en el panel de control de la maquina “Digital Shear Machine”; el operario deberá dar click en el botón “Continue”, mostrado en la Figura 57. Al ejecutar el anterior paso, se desplegará la ventana grafica mostrada en la Figura 58, donde el operario deberá dar click en el botón de “Start Test Countdown <ENT>”, dicha acción debe ser ejecutada por parte del operario para que la maquina “Digital Shear Machine” inicie el proceso de corte.

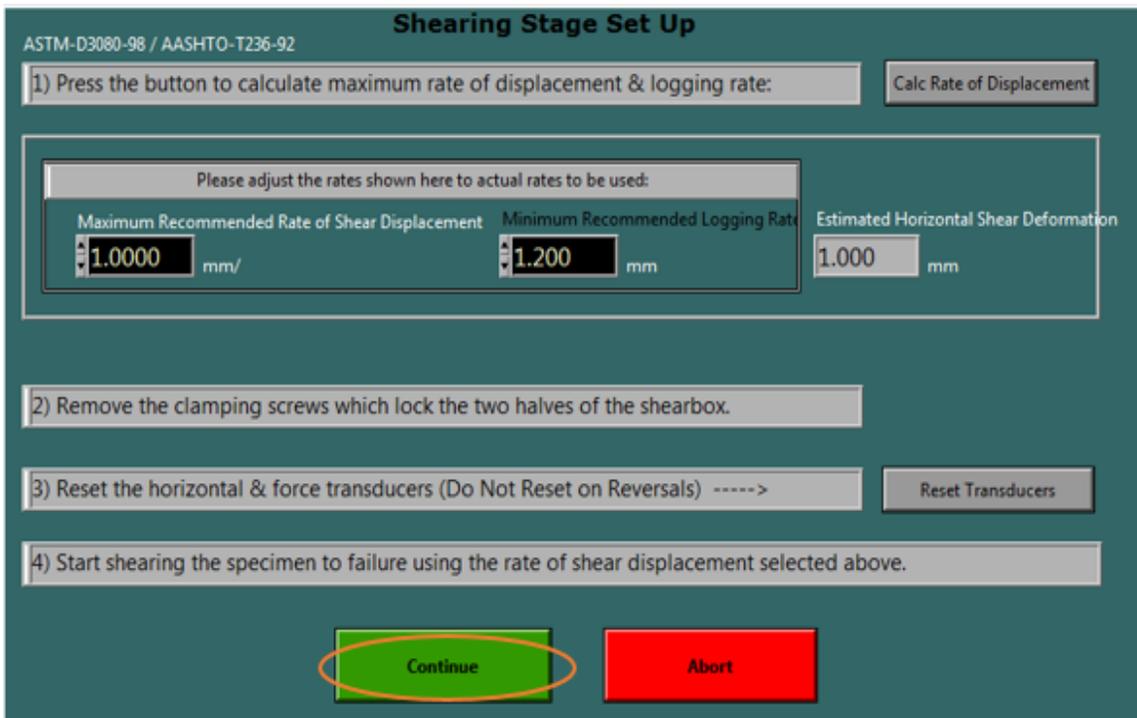


Figura 57 Inicio del ensayo del corte. Fuente: Propia

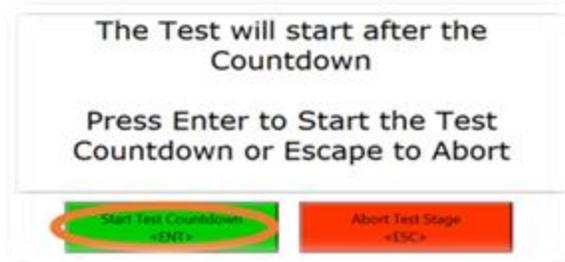


Figura 58 Comienzo del ensayo. Fuente: Propia

Después de haber dado click en el botón "Start Test Countdown <ENT>", se desplegará la ventana grafica mostrada en la Figura 59. En dicha ventana gráfica se muestra un conteo regresivo de cinco segundos, tiempo con el cual cuenta el operario, para accionar el ensayo de corte dando click en el botón de "Start" ubicado en el panel de control de la máquina de corte, dicho botón se encuentra resaltado en la Figura 60.

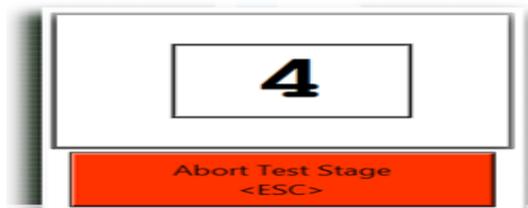


Figura 59 Conteo regresivo para ejecutar el ensayo de corte directo. Fuente: Propia



Figura 60 Inicio del ensayo de corte directo en la maquina Digital Shear Machine. Fuente: Propia

Paso 8.9. Finalización del ensayo de corte directo

Como se observa en la *Figura 61*, el software DS7p1, registra los datos obtenidos en la ejecución del ensayo de corte. Si durante el transcurso de este proceso; aparece la ventana grafica resaltado en la *Figura 62*; el operario debe dar click en “OK” de dicha ventana, esto se hace con el fin de detener el registro de datos que está haciendo el software. De igual modo el operario debe oprimir el botón “STOP” que se encuentra en el panel de control de la máquina de corte, tal como se muestra en la *Figura 63*; de no hacer tal acción la máquina de corte continuara ejecutando el ensayo, habiendo ya alcanzado el suelo su resistencia máxima. Una vez hecho lo anterior, se culmina la etapa de corte.

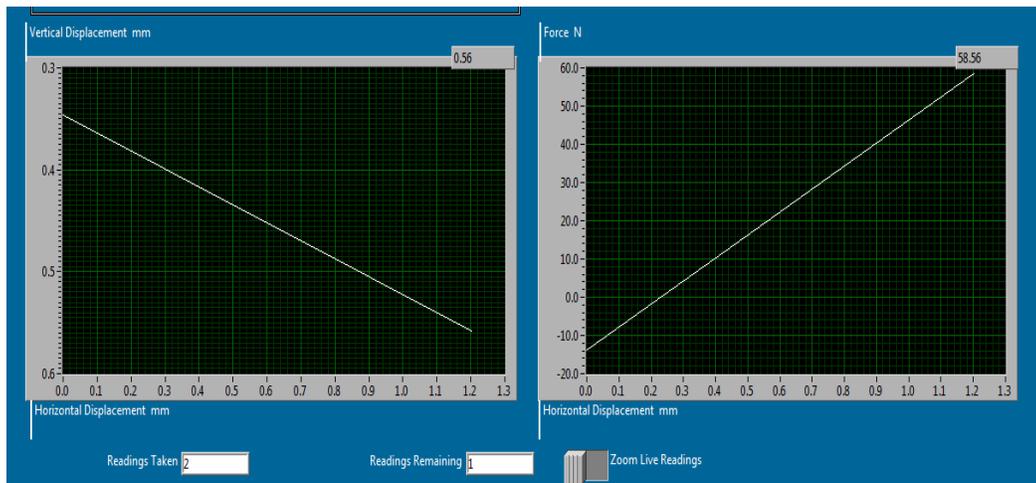


Figura 61. Registro de datos. Fuente: Propia

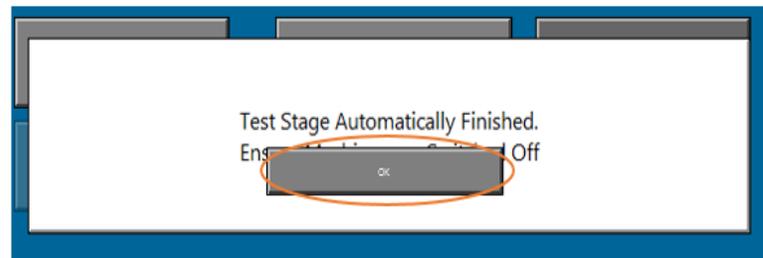


Figura 62 Finalización del proceso de registro de datos. Fuente: Propia



Figura 63 Finalización de la máquina. Fuente: Propia

Paso 9. Extracción de la recámara corte contenida en la maquina “Digital Shear Machine”

Para extraer la recámara de corte, siga los siguientes lineamientos: desenrosque los tornillos mostrados en la *Figura 64*; desplace el deformímetro vertical en contra de las manecillas del reloj, como se muestra en la *Figura 65*; retire la carga, tal como se muestra en la *Figura 66* y finalmente desplace el brazo de carga hacia la izquierda, el cual se encuentra debajo del deformímetro vertical. Luego de haber completado los anteriores pasos retire la recámara de corte, como se muestra en la *Figura 67*.



Figura 64 Desatornillar parte trasera de la caja negra. Fuente: Propia

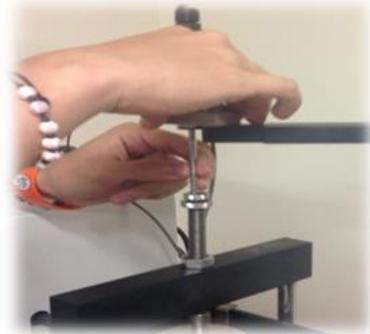


Figura 65 Desplazamiento del deformímetro vertical. Fuente: Propia



Figura 66 Retiro de carga. Fuente: Propia



Figura 67 Retiro de la recámara. Fuente: Propia

Paso 10. Extracción de la muestra contenida en la recámara de corte

Una vez se haya extraído la recámara de corte de la maquina; la extracción de la muestra se debe realizar siguiendo los siguientes lineamientos: retire la almohadilla de presión *Figura 68*, luego retire la parte superior de la recámara de corte *Figura 69*, y finalmente retire la muestra contenida en la parte inferior de la recámara de corte, haciendo presión sobre la misma como se observa en la *Figura 70*. Una vez realizado el anterior procedimiento descrito, determine el contenido de humedad siguiendo los lineamientos establecidos por la norma INVE- 122-13.



Figura 68 Retiro de la almohadilla de presión. Fuente: Propia



Figura 69 Retiro de la parte superior de la recámara de corte. Fuente: Propia



Figura 70 Extracción del espécimen. Fuente: Propia

Paso 11. Completando el informe

Después de haber determinado el peso húmedo del espécimen conforme a la norma INVE-122-13. Ingrese al software DS7p1, de clickal botón *STARTTEST STAGE*, el cual permitirá el despliegue de una serie de opciones como se observa en la *Figura 71* .De esta lista de opciones el operario debe seleccionar la opción *FINAL MEASSUREMENTS* y dar click en *OK*, la cual permitirá el despliegue de la ventana grafica observada en la *Figura 72* ;en

esta ventana grafica el operario podrá complementar la información perteneciente al

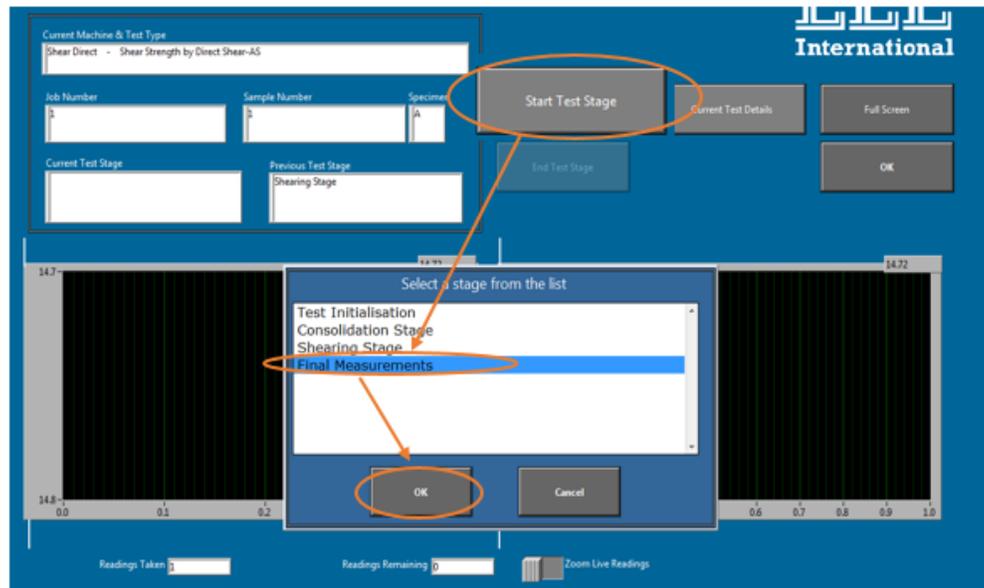


Figura 71 Etapa de medidas finales. Fuente: Propia

espécimen, como lo es : peso húmedo del espécimen “Final Specimen Weight (Wet)”, peso seco del espécimen “Specimen Weight (Dry)”(cuyo peso se determinara un día después de haber estado en el horno y por consiguiente no se registra en esta etapa), contenido de agua “Initial Moisture Content from trimmings” y la temperatura del laboratorio “Lab Temperature during test”. Después de haber diligenciado la anterior información, el operario debe guardar esta información en el software, dando clic en el botón “Save Data” que aparece en la *Figura 72*.

The screenshot shows a dialog box titled 'Final Measurements (End of Test)'. At the top right, it says 'Shear Strength by Direct Shear-AS'. Below the title, there is a text box: 'Enter all parameters which are available. Values unknown at the present time may be entered later during Test Analysis as long as they are set to 0.00 here.' The main area contains several input fields:

Final Specimen Weight (Wet)	116.50	g
Specimen Weight (Dry)	0.00	g
Initial Moisture Content from trimmings	15.50	% (optional - not used in calculations)
Lab Temperature during test	20.0	deg.C
Particle Specific Gravity	2.65	Assumed

Below the input fields, there is a text box: 'Please record any variations from the normal test procedure here:' with the value 'None' entered. At the bottom, there are two buttons: 'Save Data' (highlighted with an orange circle) and 'Cancel'.

Figura 72 Interfaz de medidas finales. Fuente: Propia

Una vez consignada la información en el software, de click en el botón “Save Data”. Al realizar esta acción se abrirá la ventana grafica mostrada en la *Figura 73*, donde deberá especificar la carpeta donde almacenará los ensayos ejecutados.

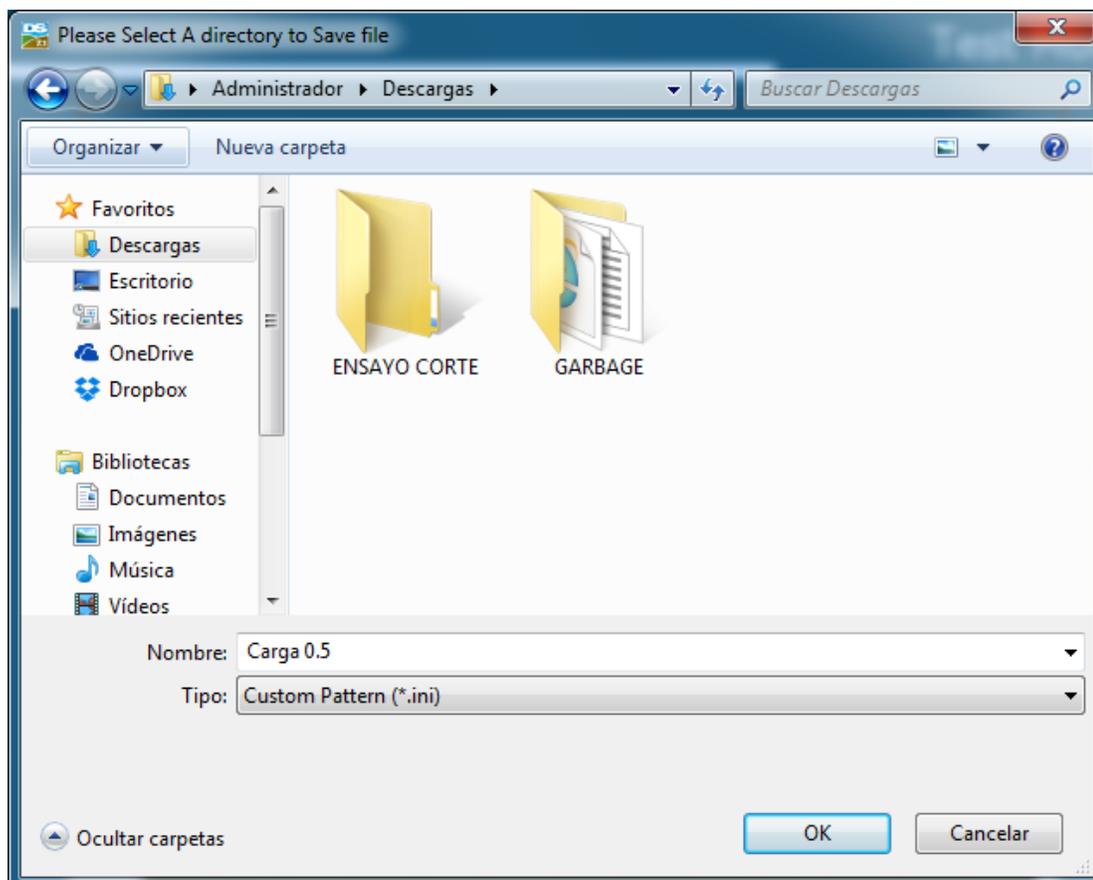


Figura 73. Salvaguardar el análisis. Fuente: Propia

Paso 12. Reposición de la cámara de corte

Una vez se haya finalizado el ensayo corte, se debe reubicar la demarcación resaltada en la máquina de corte, *Figura 74* en la posición señalada en la *Figura 75*; para realizar esto, el operario debe oprimir el botón resaltado en la *Figura 76*, hasta que la demarcación quede en la posición especificada en la *Figura 75*.

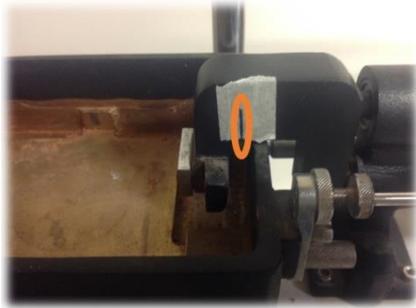


Figura 74 Posición incorrecta de la demarcación. Fuente: Propia



Figura 75 Posición correcta de la demarcación. Fuente: Propia



Figura 76 Ajustando la posición de la caja negra. Fuente: Propia

Paso 13. Análisis de resultados

Una vez el operario haya ejecutado el anterior procedimiento a varios especímenes con iguales características geotécnicas bajo diferentes esfuerzos normales, el operario debe abrir la ventana grafica del software observada en la *Figura 77*, donde deberá dar click en

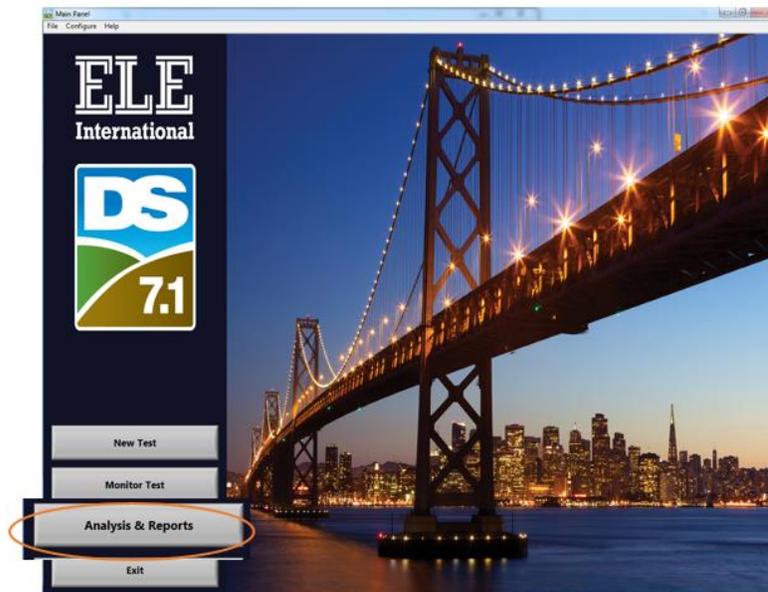


Figura 77 Interfaz para iniciar el análisis. Fuente: Propia

el botón “Analysis & Reports”. Al dar click en este botón, se da inicio al proceso de análisis y generación del reporte. Una vez el operario de click en el anterior botón, se desplegará la ventana grafica mostrada en la *Figura 78*, donde deberá dar click en el botón “Browse Directory’s”, al ejecutar la anterior acción el operario podrá cargar los datos de la envoltente de falla en el software DS7p1.

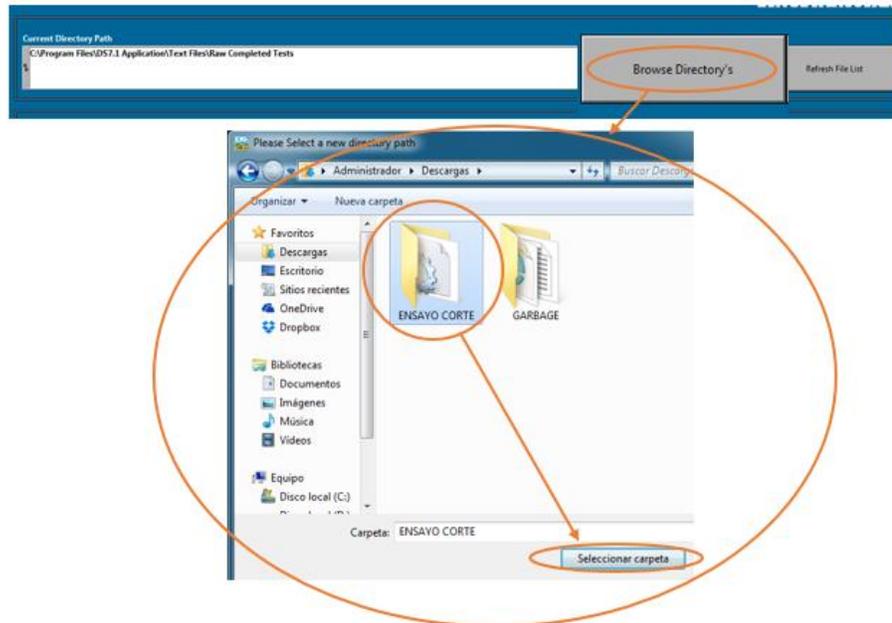


Figura 78 Selección de carpeta. Fuente: Propia

Una vez se hayan cargado los datos en el software; se procede al análisis de estos. Para realizar esto, seleccione un paquete de datos correspondiente a un esfuerzo normal específico y de click en el botón “Analysis Test”, esto se debe repetir para los demás paquetes de datos, como se observa en la *Figura 79*. Al dar click en este botón, se

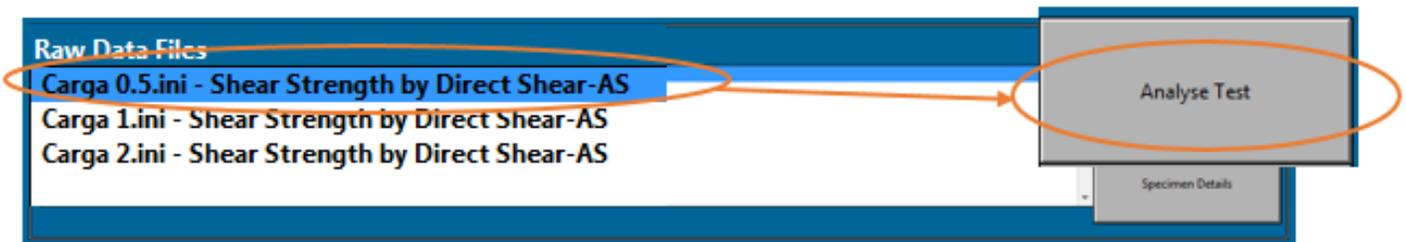


Figura 79 Selección de informe. Fuente: Propia

desplegará la ventana grafica mostrada en la *Figura 80*, en dicha ventana gráfica el operario debe ingresar el peso seco, después de haber expuesta la muestra a un día de horno a

110±5°C. Después de haber ingresado este valor, el operario deberá dar click en el botón “Save Data”, para guardar dichos análisis.

**Final Measurements
(Start of Analysis)**

Shear Strength by Direct Shear-AS

Final Specimen Weight (Wet)	111.26	g
Specimen Weight (Dry)	105.50	g
Initial Specimen Weight	115.00	g
Initial Moisture Content	9.00	% (Calculated from Initial & Dry Weights)
Initial Moisture Content from trimmings	15.50	% (optional - not used in calculations)
Lab Temperature during test	20.0	deg.C
Particle Specific Gravity	2.65	Assumed

Please confirm the values below. If you postponed entry of any of these parameters during the test they should now be entered. Items shown in yellow must be non-zero for the analysis to proceed.

Save Data **Cancel Analysis**

Figura 80 Medidas finales del informe. Fuente: Propia

Una vez ejecutado el paso anterior, se desplegará la ventana grafica mostrada en la Figura 81, donde deberá dar click en el botón de “Ok” contenido en la ventana grafica de “ANALYSIS COMPLETE” para dar por culminada la etapa de los análisis de los resultados.

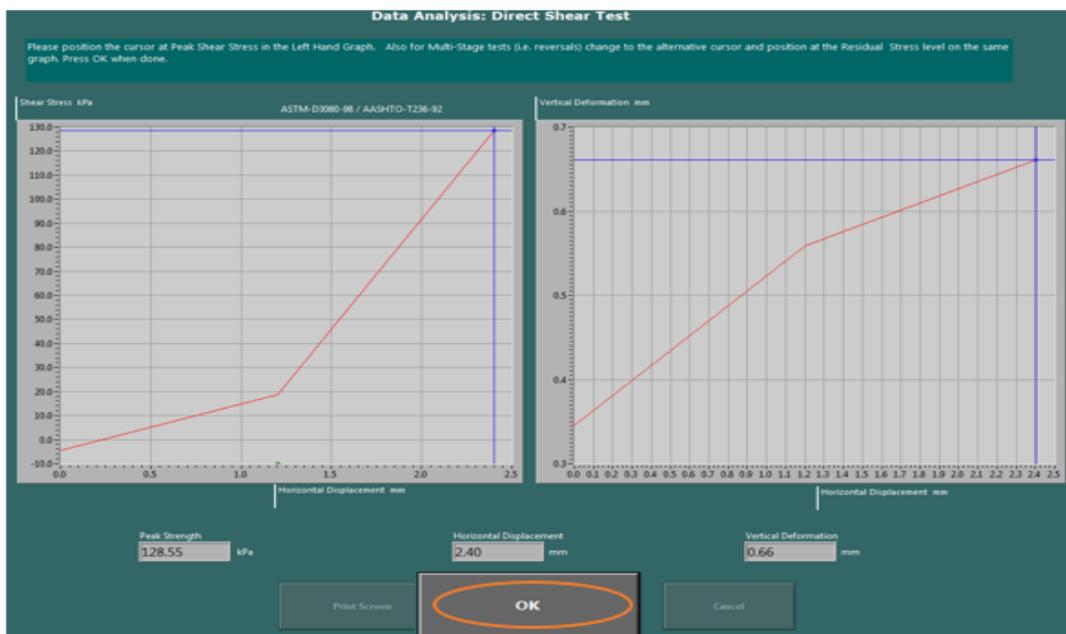


Figura 81 Análisis del esfuerzo cortante vs la deformación horizontal. Fuente: Propia

Hecho esto de click en el botón resaltado en la *Figura 82*, y enseguida de ello vuelve a dar click en “OK” en las dos veces que sale, con el fin de terminar el análisis del ensayo.

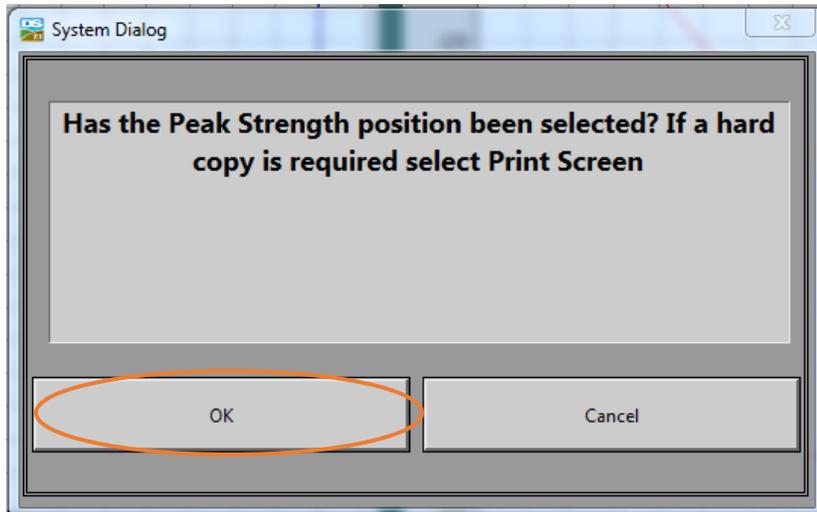


Figura 82 Finalización del análisis. Fuente: Propia

Una vez analizados todos los ensayos, de click en el primer paquete de datos procesados resaltados en azul de la *Figura 83*.

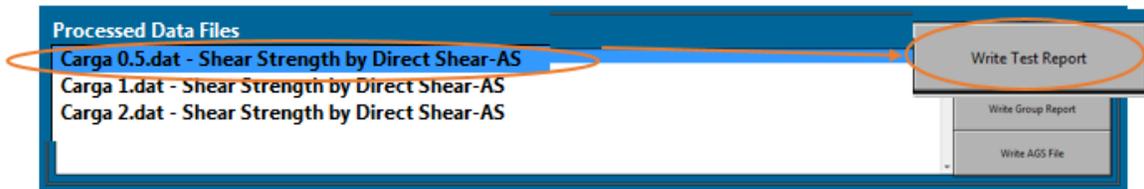


Figura 83 Generar el reporte como documento. Fuente: Propia

Una vez, hecho esto, de click en el botón “Write Test Report”. Al ejecutar el anterior paso, se desplegará la ventana grafica observada en la *Figura 84*, donde deberá seleccionar el espacio de almacenamiento de este reporte, es recomendable que esta información sea almacenada en la misma carpeta donde guardo la información correspondiente a los ensayos. Tan pronto el operario defina el espacio de almacenamiento, para la generación del reporte, debe dar click al botón “OK” mostrado en la *Figura 84*. El anterior procedimiento descrito en este párrafo, se deberá realizar para cada paquete de datos mostrado en la *Figura 83*. Es importante que el operario haga caso omiso al error arrojado sobre la incompatibilidad de documentos por lo tanto le da click en “OK” como se muestra en la *Figura 85*.

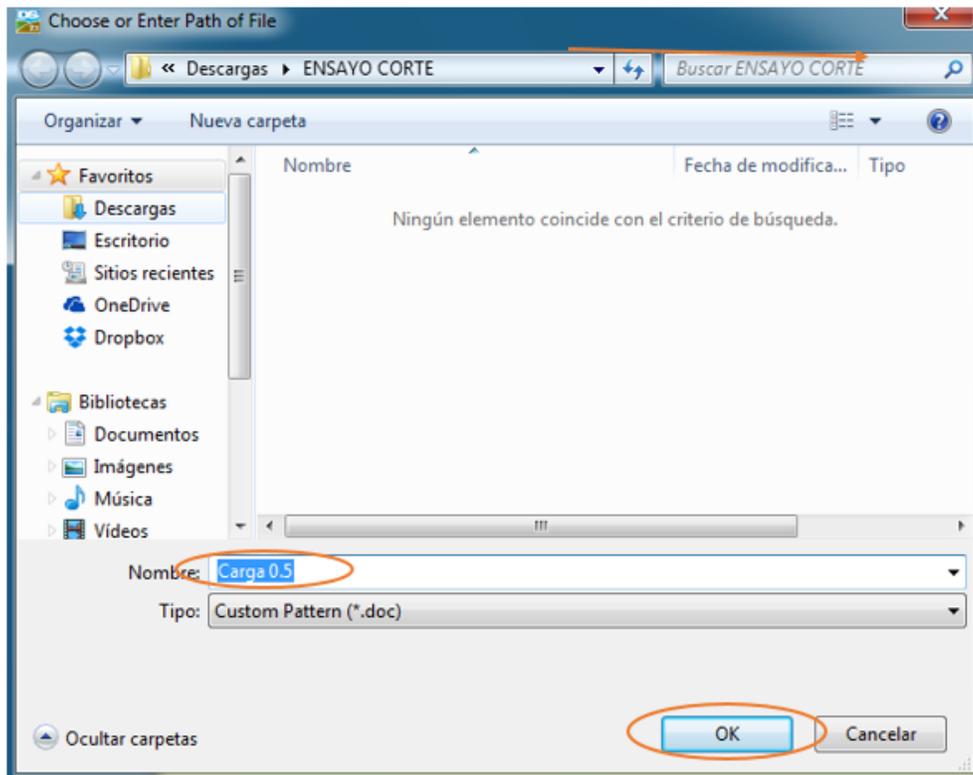


Figura 84 Salvaguardando el documento generado. Fuente: Propia

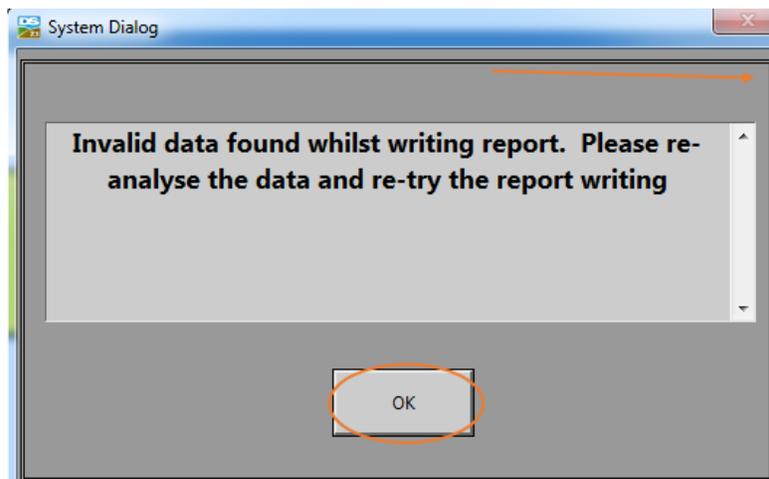


Figura 85 Incompatibilidad de documentos con versiones nuevas. Fuente: Propia

Paso 14. Generación de la envolvente de falla

Una vez los datos ya han sido documentados, debe dar click en el botón “Write Group Report” que se muestra en la *Figura 83*, esta acción se debe ejecutar para agrupar los datos

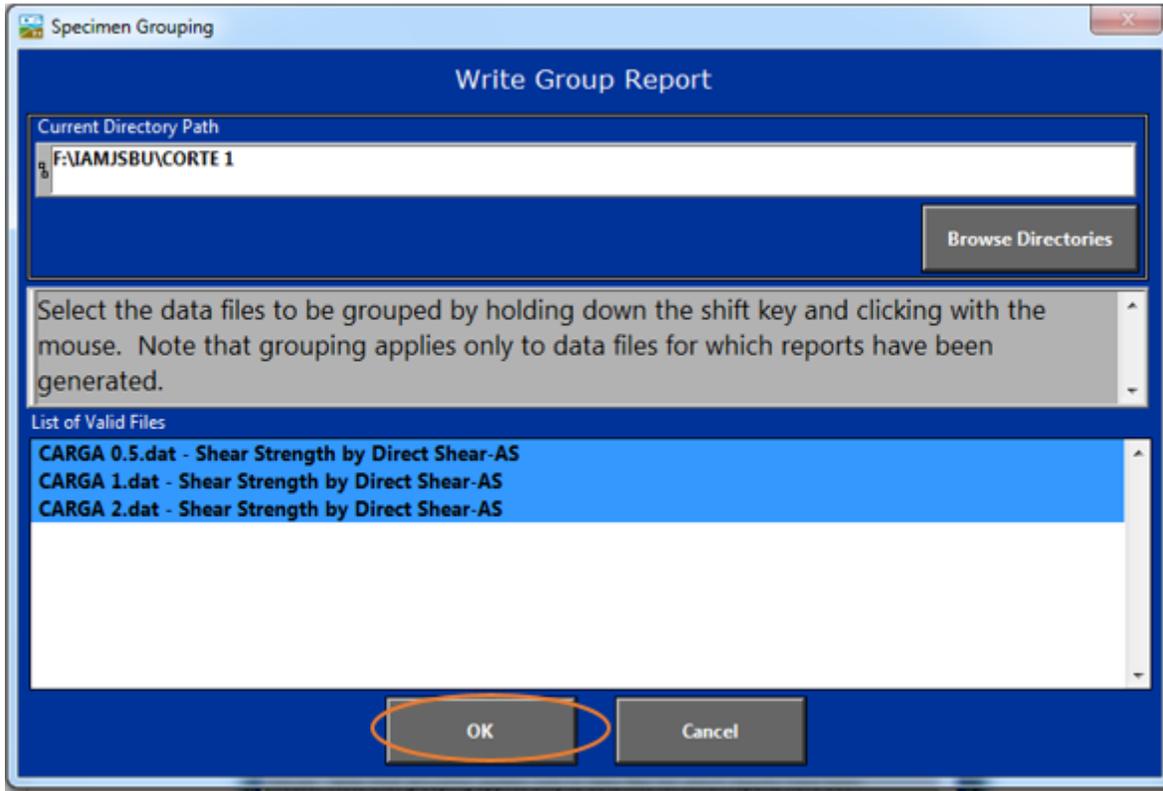


Figura 86 Selección de datos finales. Fuente: Propia

procesados para la generación de la envolvente de falla, tal como se muestra en la *Figura 86*. Estando en esta interfaz, el operario debe seleccionar todos los datos, seleccionando en primera instancia el primer grupo de datos, y luego oprimiendo la tecla SHIFT selecciona el último grupo de datos, como se muestra en la *Figura 86*. Después de haber ejecutado el anterior procedimiento, el operario debe dar click al botón “OK” mostrado en la *Figura 86*.

Paso 15. Generación del reporte

Enseguida de haber ejecutado el anterior paso, saldrá la ventana grafica mostrada en la *Figura 87*; donde se puede apreciar la envolvente de falla propia del suelo estudiado y los parámetros de resistencia al corte. El operario deberá dar click en el botón “OK” resaltado en la *Figura 87*. Una vez se realice el anterior procedimiento se desplegará la ventana gráfica observada en la *Figura 88* donde debe darle “OK”, esta acción permitirá al operario seleccionar el espacio donde desea almacenar el reporte final, como se muestra en la *Figura 89*.

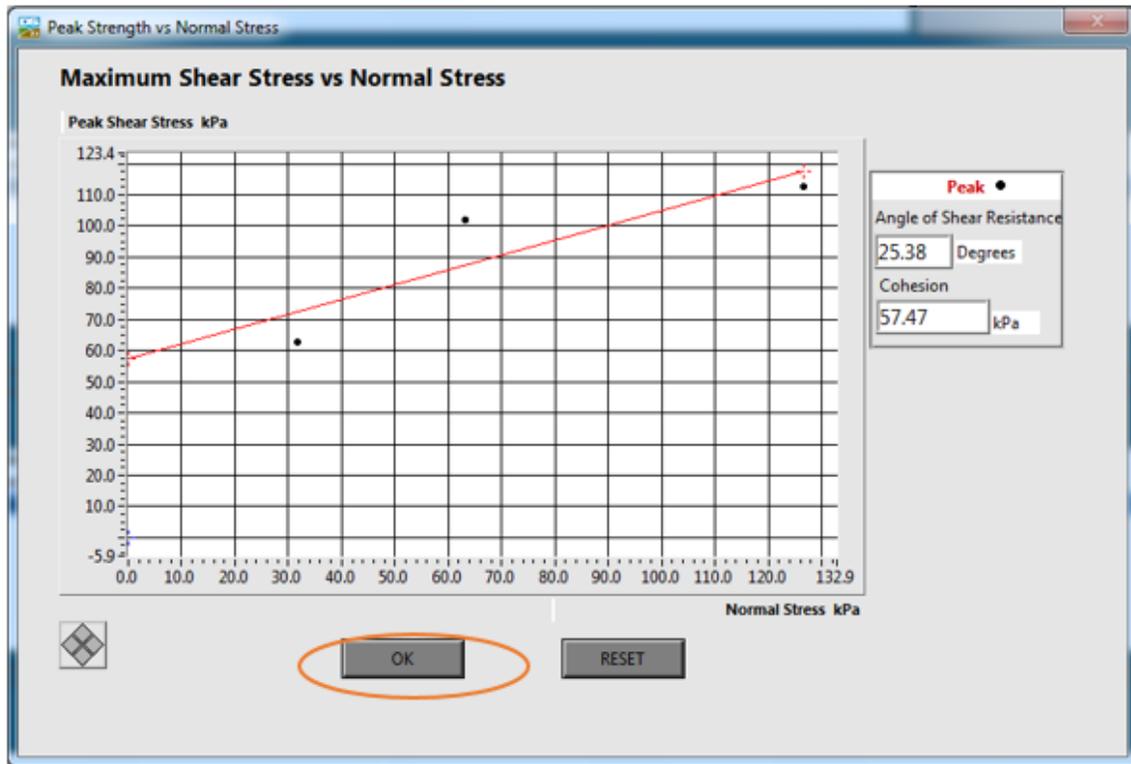


Figura 87 Envolvente de falla final. Fuente: Propia

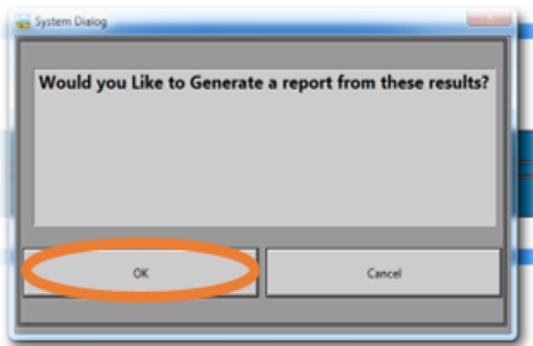


Figura 88 Información para generar el reporte final. Fuente: Propia

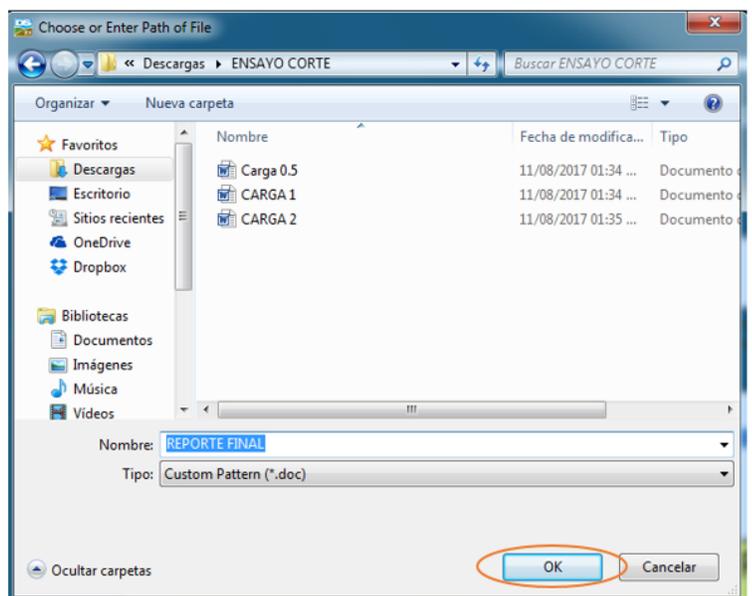


Figura 89 Lugar de almacenamiento del reporte. Fuente: Propia

Paso 16. Reporte final

Finalmente, el software el reporte final. Listo para imprimir. En la *Figura 90* se puede apreciar la última hoja del reporte.

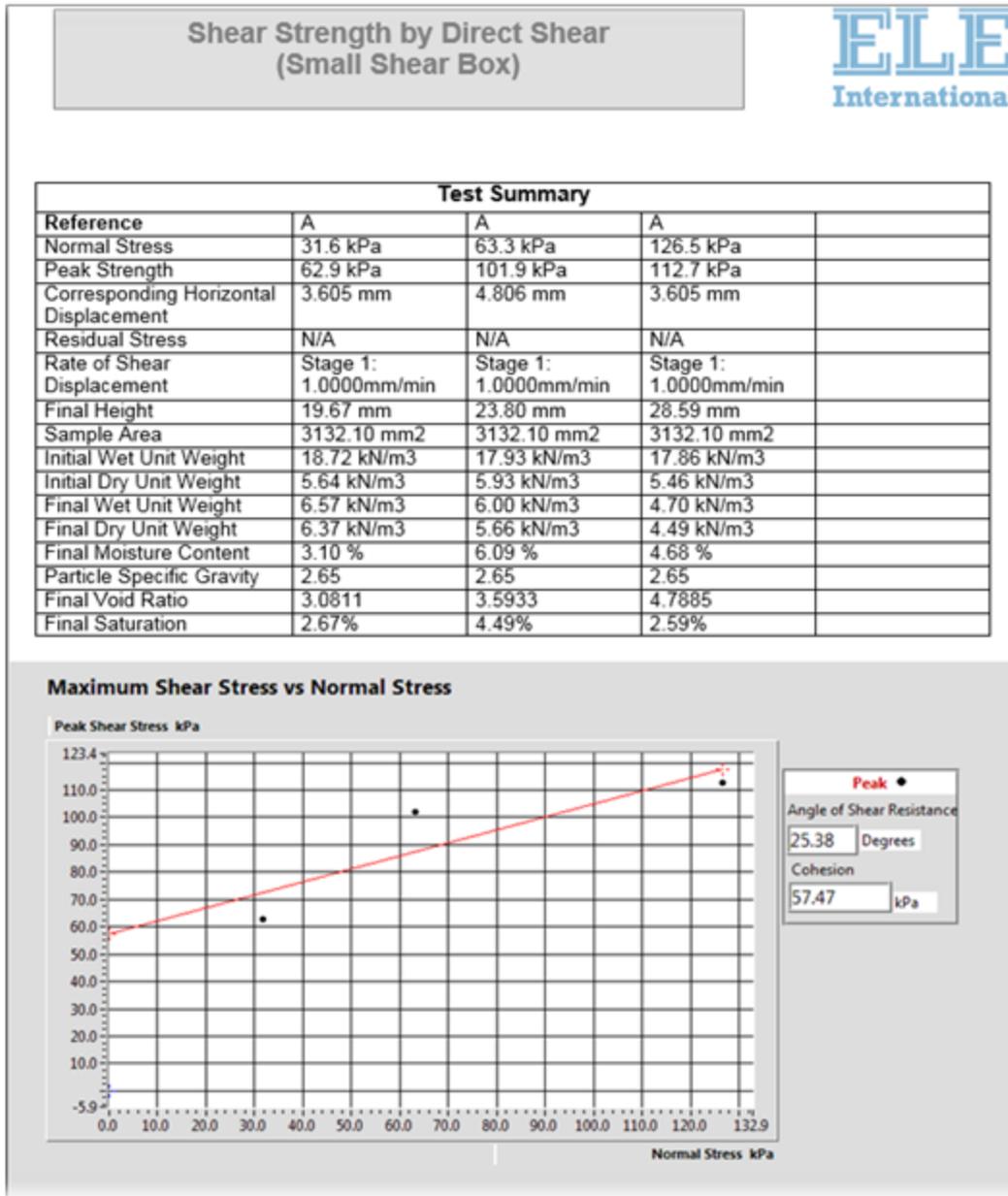


Figura 90 Reporte final. Fuente: Propia

9. RESULTADOS

9.1 GRANULOMETRIA POR TAMIZADO CON LAVADO POR LA MALLA N°200

En el proceso de clasificación del suelo utilizado se realizaron los ensayos de granulometría por tamizado con lavado por la malla N° 200 y límites de Atterberg, los resultados de dichos ensayos se encuentran consignados en las *tablas* 3, 4 y 5. Los cuales permiten conocer la distribución granulométrica que posee este suelo; que en conjunto con los límites de Atterberg, permiten la determinación del grupo al cual pertenece.

Muestra 1				
Peso de la muestra humedad		580.8		gr
Peso de la muestra seca		239.2		gr
Malla No	Abertura mm	Peso suelo retenido gr	Porcentaje ret parcial%	Porcentaje que pasa %
2	50.8	0.0	0.0	100.0
1 1/2	36.1	0.0	0.0	100.0
1	25.4	0.0	0.0	100.0
3/4	19.05	0.0	0.0	100.0
1/2	12.7	0.0	0.0	100.0
3/8	9.52	0.0	0.0	100.0
No 4	4.75	3.1	0.5	99.5
No 10	2	6.6	1.1	98.3
No 20	0.84	25.8	4.4	93.9
No 40	0.42	88.5	15.2	78.7
No 60	0.25	37.4	6.4	72.2
No 100	0.149	44.0	7.6	64.6
No 200	0.074	28.9	5.0	59.7
Pasa 200	3.9	346.5	59.7	0.0
Total		580.8		

Tabla 3 Resultados de la distribución granulométrica de la muestra. Fuente: Propia

Muestra 2				
Peso de la muestra humedad		606.3		gr
Peso de la muestra seca		252		gr
Malla No	Abertura mm	Peso suelo retenido gr	Porcentaje ret parcial%	Porcentaje que pasa %
2	50.8	0.00	0.00	100.00
1 1/2	36.1	0.00	0.00	100.00
1	25.4	0.00	0.00	100.00
3/4	19.05	0.00	0.00	100.00
1/2	12.7	0.00	0.00	100.00
3/8	9.52	0.00	0.00	100.00
No 4	4.75	5.40	0.89	99.11
No 10	2	6.80	1.12	97.99
No 20	0.84	25.60	4.22	93.77
No 40	0.42	91.50	15.09	78.67
No 60	0.25	38.30	6.32	72.36
No 100	0.149	41.20	6.80	65.56
No 200	0.074	35.60	5.87	59.69
Pasa 200	6.1	361.90	59.69	0.00
Total		606.3		

Tabla 4 Resultados de la distribución granulométrica de la muestra. Fuente: Propia

Muestra 3				
Peso de la muestra humedad		508.3		gr
Peso de la muestra seca		209.2		gr
Malla No	Abertura mm	Peso suelo retenido gr	Porcentaje ret parcial%	Porcentaje que pasa %
2	50.8	0.0	0.0	100.0
1 1/2	36.1	0.0	0.0	100.0
1	25.4	0.0	0.0	100.0
3/4	19.05	0.0	0.0	100.0
1/2	12.7	0.0	0.0	100.0
3/8	9.52	11.5	2.3	97.7
No 4	4.75	3.0	0.6	97.1
No 10	2	5.0	1.0	96.2
No 20	0.84	22.1	4.3	91.8
No 40	0.42	76.5	15.1	76.8
No 60	0.25	34.5	6.8	70.0
No 100	0.149	38.0	7.5	62.5
No 200	0.074	16.7	3.3	59.2
Pasa 200	1.4	301.0	59.2	0.0
Total		508.3		

Tabla 5 Resultados de la distribución granulométrica de la muestra 3. Fuente: Propia

Los resultados de los ensayos de granulometría que se muestran en las *tablas 3, 4 y 5*, se encuentran resumidos en la *tabla 6* anexa., presentando las fracciones de grava, arena y finos que posee cada una de las muestras estudiadas para el análisis granulométrico de este tipo de suelo.

Ensayo	% Gravas	% Arenas	% Finos
1	0.53	39.81	59.66
2	0.89	39.42	59.69
3	0.59	40.19	59.22
Promedio	0.67	39.81	59.52

Tabla 6 Resumen de resultados de granulometría. Fuente: Propia

9.2 DETERMINACIÓN DE LOS LIMITES DE PLASTICIDAD DEL SUELO

Los resultados de los ensayos de límites de Atterberg se muestran en los Anexos. Estos resultados se utilizaron para el cálculo de los límites líquidos, plásticos e índices de plasticidad; dichos límites se encuentran resumidos en la *tabla 7*. Para la ejecución de estos ensayos de límites, se utilizaron los parámetros establecidos por la norma INV.E-125-13 e INV.E-126-13.

Ensayo	limite liquido (%)	limite plastico(%)	Indice de plasticidad(%)
1	43.34	25.24	18.11
2	45.24	22.44	22.80
3	48.78	21.64	27.14
4	49.14	24.75	24.38
5	48.82	23.30	25.52
6	45.26	23.53	21.73
Promedio	46.76	23.48	23.28

Tabla 7 Resultados de límites de Atterberg. Fuente: Propia

Respecto a los resultados obtenidos en la *tabla 7*, y al entrar en la carta de plasticidad, se encontró que el suelo en estudio corresponde a un suelo tipo CL, por tener un límite líquido de 46.76% y un índice de plasticidad de 23.28%, como se muestra en la *Figura 91*.

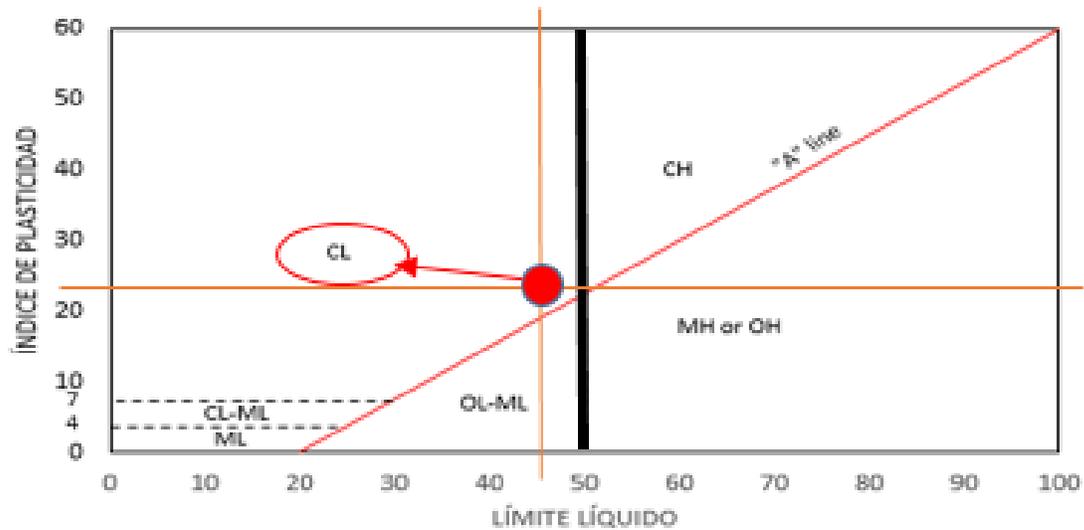


Figura 91 Gráfica de plasticidad. Fuente: Soil Mechanics 2013, M. Palanikumar, Pág 83.

9.3 ENSAYOS DE COMPACTACIÓN

Para determinar la humedad óptima, que permite alcanzar la máxima densidad específica seca, se realizaron tres (3) ensayos de compactación, siguiendo los lineamientos planteados por la norma INV.E-142-13 para la ejecución de los ensayos de Proctor modificado. El contenido de agua hallado mediante la ejecución de estos ensayos, se utilizó para la preparación de las muestras de los ensayos de corte directo.

A continuación, se presentan las curvas de compactación; con estas se encontró que la humedad óptima para la elaboración de los especímenes de corte era de 15.6%, como se observa en las siguientes figuras 92, 93 y 94.

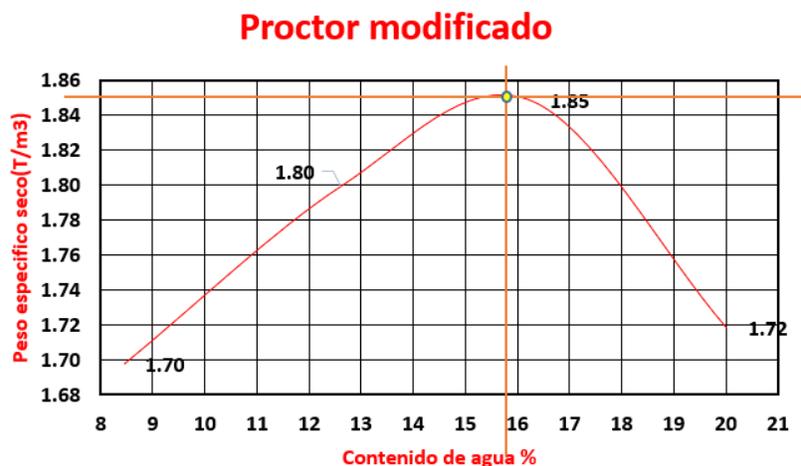


Figura 92 Curva de compactación. Muestra 1 Fuente: Propia

Proctor modificado

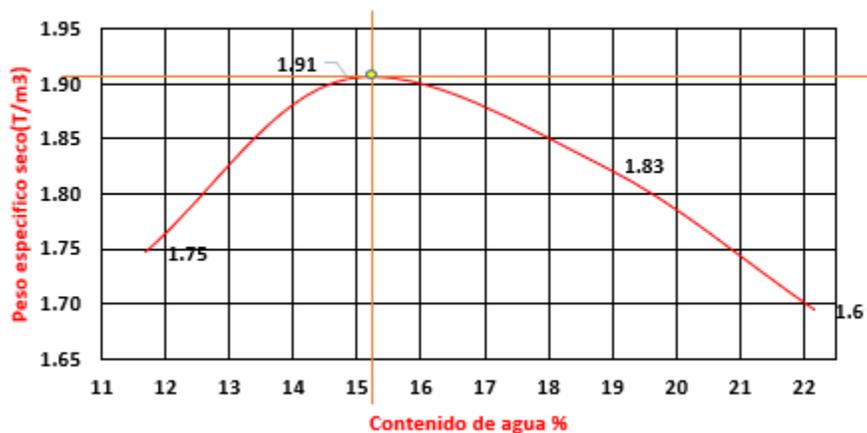


Figura 93 Gráfica de compactación. Muestra 2. Fuente: Propia

Proctor modificado

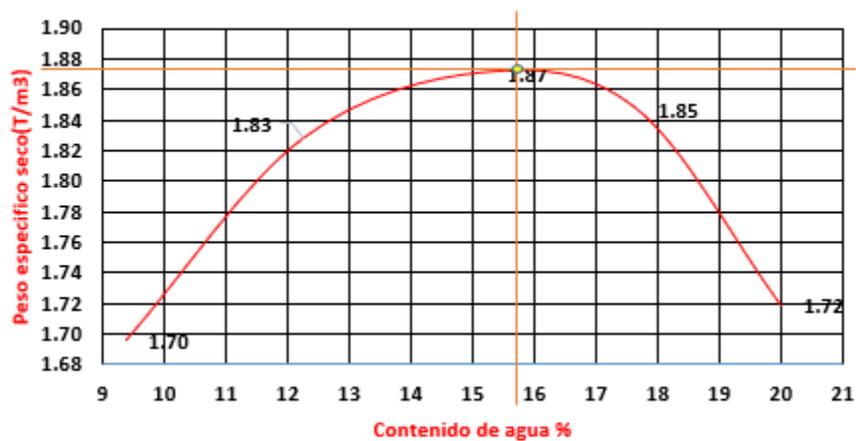


Figura 94 Curva de compactación. Muestra 3. Fuente: Propia

Muestra	γ_d (g/cm³)	ω (%)
1	1.85	15.70
2	1.92	15.30
3	1.87	15.60
Promedio	1.88	15.53

Tabla 8 Promedio de las humedades óptimas. Fuente: Propia

9.4 ENSAYOS DE CORTE DIRECTO CONSOLIDADO DRENADO

9.4.1 PREPARACIÓN DE MUESTRAS

Al realizar el análisis de las envolventes de falla de cada muestra, se obtienen los parámetros de resistencia al corte consignados en las *tablas 9* y *10*. Igualmente éstas, se construyeron con los datos obtenidos en los procesos de cizallamiento de tres especímenes bajo las cargas de 0.5, 1 y 2 Kg/cm².

Respecto a las condiciones de cizallamiento planteadas en los objetivos del presente proyecto, los especímenes usados en los ensayos de corte directo de ambas máquinas, se realizaron con el proceso de compactación descrito en la norma INV.E-142-13 y usando la humedad óptima de este tipo de suelo.

En cuanto a la extracción de los especímenes, la primera muestra que se usó para los ensayos de corte; se tomó del collarín del molde compactado, como se muestra en la *Figura 95*. La segunda se tomó de la parte superior del molde compactado y la tercera de la parte inferior del molde compactado, tal como se presenta en la *Figura 95*.

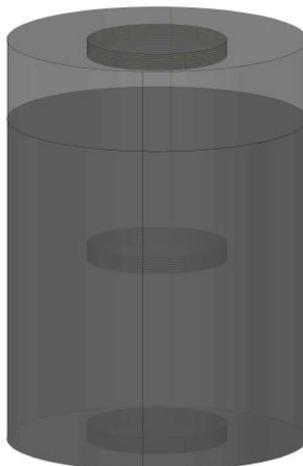


Figura 95 Modelo de extracción de una muestra. Fuente: Propia

Los ensayos de corte directo realizados en las máquinas *APPARATUS DIRECT SHEAR CELDA DE 100N A 5000N "ELECAV"* y *"DIGITAL DIRECT / RESIDUAL SHEAR APPARATUS COMPLETE WITH LEVER LOADING ASSEMBLY 110-120V 50/60 Hz 1Ph"*, se realizaron según los lineamientos planteados en la norma INV E-154-13, para ensayos de corte directo consolidados drenados.

Vale la pena aclarar que los tiempos de la etapa de consolidación usados en el presente trabajo corresponden a los diez mínimos solicitados por la máquina automatizada, ya que, si se hubiesen utilizados los tiempos exigidos por la norma, el tiempo de ejecución de un solo ensayo hubiese sido de por lo menos seis días, es decir los sesenta ensayos se hubieran realizado en sesenta semanas. Sin embargo, en el manual de operación del equipo automatizado (presentado en este trabajo) se explica claramente cómo se debe efectuar la etapa de consolidación respetando la norma.

9.4.2 ENSAYOS DE CORTE REALIZADOS EN LA MAQUINA APPARATUS DIRECT SHEAR CELDA DE 100N A 5000N “ELECAV” (CONSOLIDADO-DRENADO)

La *tabla 9* muestra el resumen de los resultados obtenidos en los 30 ensayos de corte directo ejecutados en la maquina APPARATUS DIRECT SHEAR CELDA DE 100N A 5000N “ELECAV”. Dichos cortes se realizaron para especímenes compactados con la humedad óptima y usando esfuerzos normales de 0.5 ,1 y 2 Kg/cm², para obtener los parámetros de resistencia al corte.

ENSAYO	ϕ (°)	C (Kg/cm ²)	ω (%)	γ (g/cm ³)	γ_s (g/cm ³)
1	20	0.364	18	1.85	1.57
2	23.7	0.355	15	1.81	1.57
3	24.6	0.3	13	1.65	1.47
4	23.6	0.609	15	1.87	1.62
5	22.8	0.289	17	1.9	1.62
6	30	0.274	18	1.87	1.62
7	28.2	0.35	18	1.85	1.57
8	25.3	0.288	17	1.82	1.55
9	27.3	0.275	17	1.96	1.68
10	29.8	0.239	17	1.89	1.61
11	24.6	0.61	17	1.83	1.57
12	23.3	0.276	19	1.95	1.64
13	31.5	0.267	17	1.77	1.5
14	26	0.6	17	2.01	1.73
15	21	0.37	17	1.94	1.65
16	21.2	0.493	17	1.83	1.58
17	20.3	0.422	16	1.36	1.16
18	22.4	0.468	17	2.01	1.71
19	20.3	0.615	18	1.84	1.58
20	23	0.516	17	1.94	1.67
21	21.3	0.536	16	1.87	1.6
22	26.3	0.328	17	1.88	1.61
23	31.1	0.252	17	1.9	1.61
24	26.1	0.345	18	1.87	1.63
25	30.5	0.291	15	1.9	1.65
26	30.2	0.332	15	1.37	1.18
27	28.2	0.311	15	1.87	1.61
28	25.9	0.578	15	1.95	1.68
29	22.6	0.637	16	1.78	1.54
30	31.3	0.339	16	1.78	1.54
PROMEDIO	25.41	0.40	16.57	1.84	1.58
DES. ESTANDAR	3.67	0.13	1.28	0.15	0.12
COEF. VARIACIÓN	14%	33%	8%	8%	8%
MINIMO	20.00	0.24	13.00	1.36	1.16
MAXIMO	31.50	0.64	19.00	2.01	1.73

Tabla 9 Resultados obtenidos con la máquina de corte digital. Fuente: Propia

Como se observa en la *tabla 9*, el promedio del ángulo de fricción interno es de 25.41°, con una desviación estándar de 3.67°; la cohesión promedio es de 0.4 Kg/cm², con una desviación estándar de 0.13Kg/cm² y un peso específico de 1.84 g/cm³, con una desviación estándar de 0.15 g/cm³.

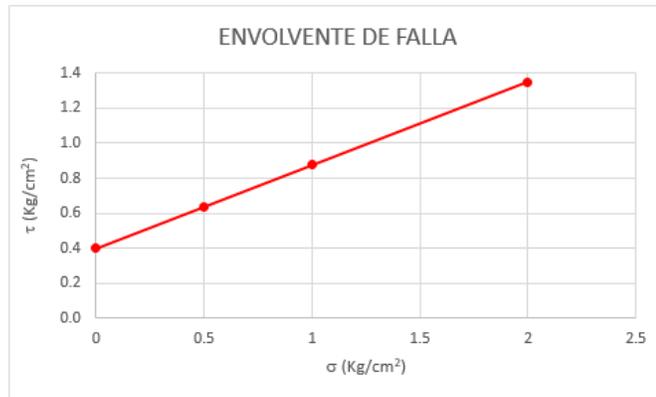


Figura 96 Envolvente de falla promedio para la máquina digital. Fuente: Propia

9.4.3 ENSAYOS DE CORTE REALIZADOS EN LA MAQUINA “DIGITAL DIRECT / RESIDUAL SHEAR APPARATUS COMPLETE WITH LEVER LOADING ASEEMBLY 110-120V 50/60 Hz 1Ph (CONSOLIDADO- DRENADO)

La *tabla 10* muestra el resumen de los resultados obtenidos en los 30 ensayos de corte directo ejecutados en la maquina “DIGITAL DIRECT / RESIDUAL SHEAR APPARATUS COMPLETE WITH LEVER LOADING ASEEMBLY 110-120V 50/60 Hz 1Ph. Dichos cortes realizados en esta máquina, se realizaron para especímenes compactados con la humedad óptima y usando esfuerzos normales de 0.5 ,1 y 2 Kg/cm², para obtener los parámetros de resistencia al corte.

ENSAYO	ϕ (°)	C (Kg/cm ²)	ω (%)	γ (g/cm ³)	γ_s (g/cm ³)
1	25.38	0.58	19.95	1.85	1.6
2	32.84	0.41	18.87	1.84	1.6
3	34.8	0.56	20.2	1.9	1.58
4	30.07	0.39	20.18	1.98	1.64
5	26.42	0.52	20.5	1.93	1.6
6	32.19	0.49	19.92	1.93	1.61
7	29.93	0.5	20.29	1.94	1.61
8	25.71	0.42	19.8	2.01	1.68
9	35.52	0.44	19.3	1.97	1.65
10	33.83	0.38	18.83	1.99	1.67
11	27.3	0.47	18.84	1.99	1.67
12	28.24	0.53	19.6	1.93	1.62
13	32.31	0.44	16.6	1.95	1.67
14	25.24	0.6	19.09	2.03	1.7
15	34.59	0.46	19.26	1.88	1.57
16	33.42	0.49	18.12	1.87	1.58
17	31.67	0.4	19.3	1.96	1.64
18	32.36	0.45	17.87	1.9	1.61
19	30.49	0.57	18.95	1.95	1.64
20	34.72	0.52	14.65	1.95	1.7
21	33.54	0.37	22.94	1.73	1.41
22	26.97	0.46	20.76	1.99	1.65
23	27.92	0.52	16.19	1.93	1.66
24	32.01	0.42	20.19	1.95	1.62
25	30.09	0.55	19.45	2.03	1.7
26	34.31	0.44	18.01	1.88	1.59
27	33.13	0.47	19.3	1.87	1.57
28	31.37	0.38	18.31	1.96	1.66
29	32.07	0.44	18.77	1.9	1.6
30	29.25	0.57	15.16	1.95	1.69
PROMEDIO	30.92	0.47	18.97	1.93	1.63
DES. ESTANDAR	3.08	0.07	1.67	0.06	0.06
COEF. VARIACIÓN	10%	14%	9%	3%	4%
MINIMO	25.24	0.37	14.65	1.73	1.41
MAXIMO	35.52	0.60	22.94	2.03	1.70

Tabla 10 Resultados obtenidos con la máquina de corte automatizada. Fuente: Propia

Como se observa en la *tabla 10*, el promedio del ángulo de fricción interno es de 30.92°, con una desviación estándar de 3.08°; la cohesión promedio es de 0.47 Kg/cm², con una desviación estándar de 0.07 Kg/cm² y un peso específico de 1.93 g/cm³, con una desviación estándar de 0.06 g/cm³.

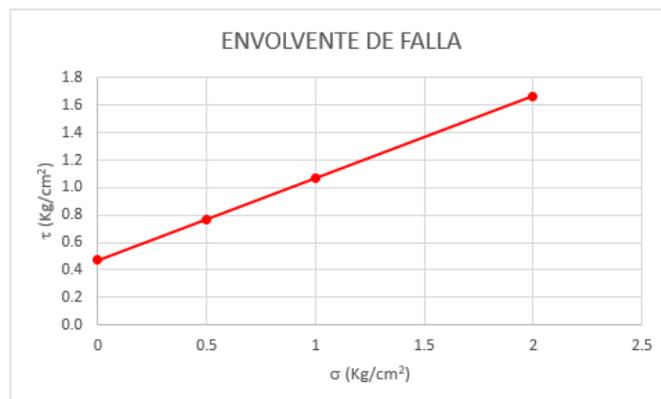


Figura 97 Envolvente de falla promedio para la máquina automatizada. Fuente: Propia

10. ANÁLISIS DE RESULTADOS

10.1 CLASIFICACION DEL SUELO

Según los resultados de los ensayos de granulometría, se puede decir que, para el sistema de clasificación SUCS, este suelo corresponde, a un suelo tipo fino ya que más del 50% de su masa pasa el tamiz N°200.

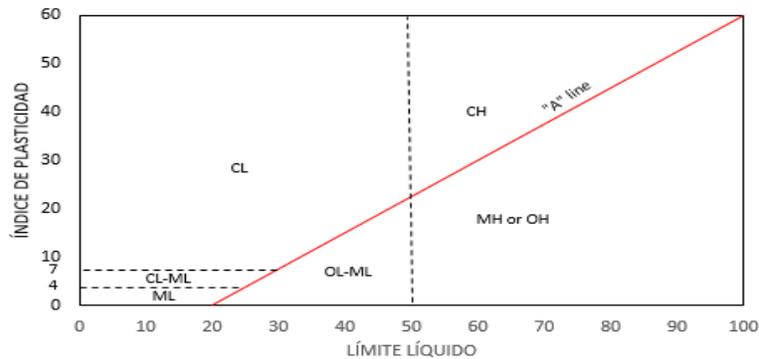


Figura 98 Carta de plasticidad. Fuente: Propia

Al ser este suelo un suelo tipo fino, la clasificación del mismo no queda culminada sino hasta cuando se determine el tipo de suelo fino según la carta de plasticidad mostrada en la *Figura 98*. Haciendo uso de esta carta y los valores promedio ($LL=46.76\%$ e $IP=23.28\%$) en los diferentes ensayos de límites de Atterberg, se puede observar que al ingresar a la carta de plasticidad el suelo se ubica en la zona en la cual se está por encima de la línea A, el límite líquido es inferior al 50% y el índice de plasticidad es superior al 7% (zona correspondiente a las arcillas de baja compresibilidad, CL).

10.2 ENSAYOS DE COMPACTACION

Después de clasificar el suelo, se ejecutaron los ensayos de compactación siguiendo los lineamientos especificados en la norma INV- E-142-13, para la ejecución de un ensayo de Proctor modificado. El análisis de los resultados obtenidos en la ejecución de estos ensayos, arrojaron un peso específico seco máximo de 1.64 g/cm^3 para un contenido de agua de 15.66%. Estos parámetros de compactación son característicos de una arcilla de baja plasticidad como la encontrada en el ensayo de clasificación del suelo.

10.3 ENSAYOS DE CORTE DIRECTO

Una vez analizados los resultados consignados en las *tablas 9 y 10*, se procedió a establecer los coeficientes de correlación para el ángulo de fricción y la cohesión, de la siguiente manera:

10.3.1 COEFICIENTE DE CORRELACION DEL ANGULO DE FRICCION, K_ϕ

Este coeficiente corresponde al valor por el cual debería multiplicarse al ángulo de fricción interna obtenido en la maquina digital, si se quiere estimar el valor que se obtendría con la maquina automatizada.

El valor K_ϕ se puede calcular para el suelo y las máquinas de corte directo utilizadas por medio de la siguiente ecuación:

$$K_\phi = \frac{\phi_{MA}}{\phi_{MD}}$$

Ecuación 3 Correlación ángulo de fricción

Donde:

ϕ_{MA} : Angulo de fricción interna obtenido con la maquina Automatizada

ϕ_{MD} : Angulo de fricción interna obtenido con la maquina Digital

10.3.2 COEFICIENTE CORRELACIÓN DE LA COHESION, K_c

Este coeficiente corresponde al valor por el cual debería multiplicarse a la cohesión obtenida en la maquina digital, si se quiere estimar el valor que se obtendría con la maquina automatizada.

El valor K_c se puede calcular para el suelo y las máquinas de corte directo utilizadas por medio de la siguiente ecuación:

$$K_c = \frac{C_{MA}}{C_{MD}}$$

Ecuación 4 Correlación de la cohesión

Donde:

C_{MA} : Cohesión obtenido con la maquina Automatizada

C_{MD} : Cohesión obtenido con la maquina Digital

De acuerdo con lo anterior los valores de los coeficientes de corrección son:

$K_\phi: 1.217$ y $K_c: 1.175$.

10.4 COMPARACION DE LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE CORTE DIRECTO REALIZADOS CON LA MAQUINA DIGITAL Y LA AUTOMATIZADA

Con los valores del ángulo de fricción interna y cohesión promedios obtenidos en los ensayos de corte directo realizados con la maquina digital se pudo obtener una envolvente de falla para el suelo estudiado dada para la siguiente ecuación.

$$\tau = \sigma * \tan 25.41 + 0.4$$

Ecuación 5 Esfuerzo cortante de la máquina digital

Con los valores del ángulo de fricción interna y cohesión promedios obtenidos en los ensayos de corte directo realizados con la maquina automatizada se pudo obtener una envolvente de falla para el suelo estudiado dada para la siguiente ecuación.

$$\tau = \sigma * \tan 30.92 + 0.47$$

Ecuación 6 Esfuerzo cortante de la máquina automatizada

En la siguiente *figura* se muestra la comparación de las envolventes de fallas entre las dos máquinas.

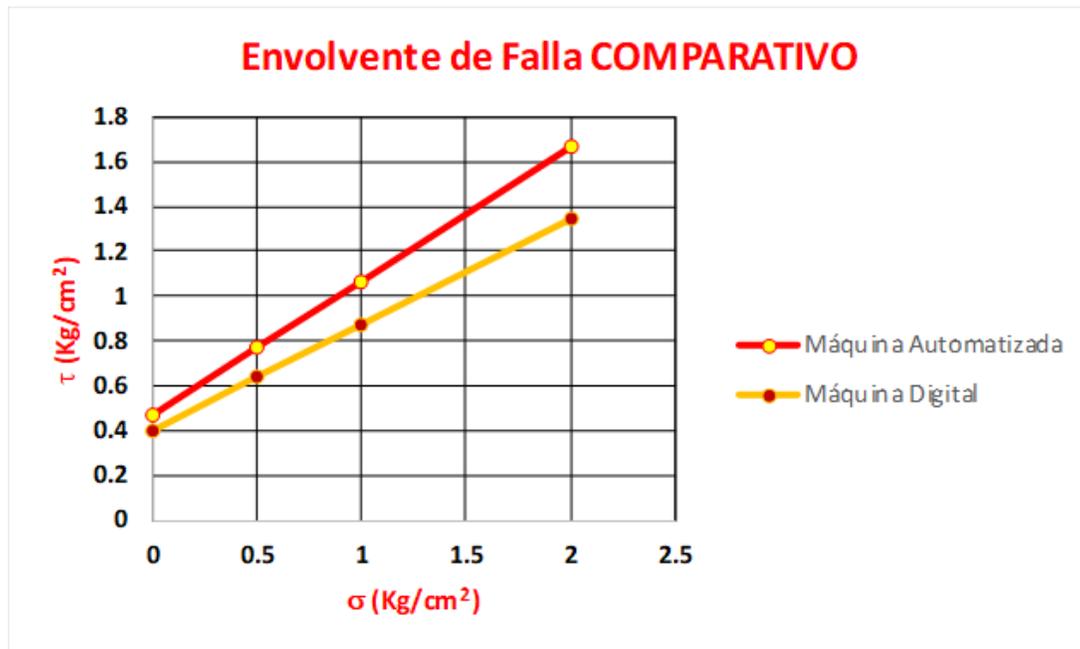


Figura 99 Comparación de envolventes de falla de la Digital vs Automatizada. Fuente: Propia

Como se puede observar en la *Figura 99*, la automatizada tiene mayor pendiente que la digital, en pocas palabras la cohesión y el ángulo de fricción es mayor a la digital.

ENSAYO	ϕ_{MD} (°)	ϕ_{MA} (°)	$\phi_{M-Digital}$ Corregida (°)	Error (%)
	K_{ϕ}			
	1.217			
1	20	25.38	24.34	4.11
2	23.7	32.84	28.84	12.19
3	24.6	34.8	29.93	13.98
4	23.6	30.07	28.72	4.50
5	22.8	26.42	27.74	5.01
6	30	32.19	36.50	13.40
7	28.2	29.93	34.31	14.65
8	25.3	25.71	30.79	19.74
9	27.3	35.52	33.22	6.48
10	29.8	33.83	36.26	7.19
11	24.6	27.3	29.93	9.65
12	23.3	28.24	28.35	0.39
13	31.5	32.31	38.33	18.63
14	26	25.24	31.64	25.34
15	21	34.59	25.55	26.13
16	21.2	33.42	25.80	22.81
17	20.3	31.67	24.70	22.00
18	22.4	32.36	27.26	15.77
19	20.3	30.49	24.70	18.99
20	23	34.72	27.99	19.39
21	21.3	33.54	25.92	22.73
22	26.3	26.97	32.00	18.66
23	31.1	27.92	37.84	35.54
24	26.1	32.01	31.76	0.79
25	30.5	30.09	37.11	23.34
26	30.2	34.31	36.75	7.10
27	28.2	33.13	34.31	3.57
28	25.9	31.37	31.52	0.46
29	22.6	32.07	27.50	14.25
30	31.3	29.25	38.09	30.21
PROMEDIO	25.41	30.92	30.92	14.57
DES. ESTANDAR	3.67	3.08	4.47	
COEF. VARIACIÓN	14%	10%	14%	
MINIMO	20.00	25.24	24.34	
MAXIMO	31.50	35.52	38.33	

ENSAYO	C_{MD} ($\frac{Kg}{cm^2}$)	C_{MA} ($\frac{Kg}{cm^2}$)	$C_{M-Digital}$ Corregida ($\frac{Kg}{cm^2}$)	Error (%)
	K_C			
	1.175			
1	0.364	0.58	0.43	26.26
2	0.355	0.41	0.42	1.74
3	0.3	0.56	0.35	37.05
4	0.609	0.39	0.72	83.48
5	0.289	0.52	0.34	34.70
6	0.274	0.49	0.32	34.30
7	0.35	0.5	0.41	17.75
8	0.288	0.42	0.34	19.43
9	0.275	0.44	0.32	26.56
10	0.239	0.38	0.28	26.10
11	0.61	0.47	0.72	52.50
12	0.276	0.53	0.32	38.81
13	0.267	0.44	0.31	28.70
14	0.6	0.6	0.71	17.50
15	0.37	0.46	0.43	5.49
16	0.493	0.49	0.58	18.22
17	0.422	0.4	0.50	23.96
18	0.468	0.45	0.55	22.20
19	0.615	0.57	0.72	26.78
20	0.516	0.52	0.61	16.60
21	0.536	0.37	0.63	70.22
22	0.328	0.46	0.39	16.22
23	0.252	0.52	0.30	43.06
24	0.345	0.42	0.41	3.48
25	0.291	0.55	0.34	37.83
26	0.332	0.44	0.39	11.34
27	0.311	0.47	0.37	22.25
28	0.578	0.38	0.68	78.72
29	0.637	0.44	0.75	70.11
30	0.339	0.57	0.40	30.12
PROMEDIO	0.40	0.47	0.47	31.38
DES. ESTANDAR	0.13	0.07	0.15	
COEF. VARIACIÓN	33%	14%	33%	
MINIMO	0.24	0.37	0.28	
MAXIMO	0.64	0.60	0.75	

Tabla 11 Correlación del ángulo de fricción y la cohesión entre las dos máquinas. Fuente: Propia

Una vez obtenidos los coeficientes de corrección con las ecuaciones 5 y 6, tanto para el ángulo de fricción interna como para la cohesión, se procedió a estimar los valores corregidos que se obtendrían para estos parámetros de resistencia al corte a partir de los resultados de los treinta ensayos de la maquina digital. La *tabla 11* muestran dichos valores corregidos, así como también los errores cometidos con base en los parámetros obtenidos en las pruebas realizadas con la maquina automatizada.

El ángulo de fricción interna obtenido en los ensayos con la maquina digital presenta errores que van desde 0.39% hasta 35.54%(en promedio 14.57%), mientras que la cohesión obtenida con la misma maquina presenta errores que van de 1.74% hasta 83.48%(en promedio 31.38%).

11. CONCLUSIONES

- Una vez los autores del presente trabajo de grado leyeron el material escrito suministrado con la compra del equipo y unido esto a la experiencia previa adquirida en el manejo del equipo de corte digital, se procedió a realizar ensayos de corte directo con el equipo automatizado hasta adquirir la destreza y el conocimiento necesarios para proceder a realizar los treinta ensayos requeridos para comparar sus resultados con los obtenidos con el equipo digital. Este conocimiento se plasmó en el manual de operación del equipo incluido en el capítulo 8.
- Para comparar los resultados de los ensayos de corte directo obtenidos con las dos máquinas era necesario que todas las muestras tuvieran las mismas propiedades físicas, estas se prepararon con la humedad óptima y el peso específico seco máximo, los cuales se obtuvieron mediante la ejecución de tres ensayos de compactación Proctor modificado. La humedad óptima promedio obtenida en dichos ensayos fue de 15.53% y el peso específico seco máximo de 1.88 g/cm³.
- Una vez realizados todos los ensayos de corte directo requeridos para el desarrollo de este trabajo se encontró que el suelo estudiado presenta un ángulo de fricción interna promedio de 25.41° y una cohesión promedio de 0.4 kg/cm² en los ensayos realizados con la máquina digital, mientras que con la máquina automatizada se obtuvo un ángulo de fricción interna promedio de 30.92° y una cohesión promedio de 0.47 kg/cm² Teniendo como % de error de 21.7% para el ángulo de fricción y 17.5% para la cohesión al comparar los resultados promedios entre las dos máquinas.
- Al comparar los parámetros de resistencia al corte obtenidos con las dos máquinas y el suelo estudiado en el presente trabajo de grado, se puede concluir que los resultados obtenidos con la máquina digital (antigua) son menores que aquellos obtenidos con la máquina automatizada (nueva); siendo el ángulo de fricción interna 1.217 veces mayor en la máquina automatizada y la cohesión 1.175 veces mayor en dicha máquina.
- Dado que los resultados obtenidos con la máquina automatizada se consideran más cercanos a la realidad debido a la forma de adquisición de los datos, por la modernidad del equipo, el cual permite la minimización de errores humanos, etc.; se concluye que los diseños de estructuras de contención y cimentación a partir de los parámetros obtenidos con la máquina digital, son más conservadores que los realizados a los parámetros obtenidos con la máquina automatizada; vale la pena anotar que esta afirmación es válida solo para las máquinas y tipo de suelo utilizados en el presente trabajo.
- Una de las principales ventajas que tiene la máquina automatizada sobre la digital es que el proceso de adquisición de datos y generación del reporte es automático, por lo tanto, se minimiza el error humano, ya que con la máquina digital las fuerzas de corte no son tomadas exactamente en los tiempos deseados.

- Una desventaja del equipo automatizado con respecto al digital es que los procesos de operación del automatizado no son tan ágiles ni fáciles de asimilar por parte de un operario.
- Además del manual de operación del equipo automatizado incluido en el capítulo 8, uno de los aportes de los autores es la elaboración de un video para dar mayor claridad a los procesos, así como también un poster, el cual se dispondrá junto a la maquina automatizada
- La etapa de consolidación en el equipo automatizado no puede ser obviada ya que este requiere de por lo menos el registro de diez datos de dicha etapa. De igual forma es posible añadir por aparte un tipo de “máquina” para ensayos U.U, para hacer caso omiso a la etapa de consolidación.
- La implementación del equipo automatizado en el laboratorio de geotecnia y pavimentos de la universidad pontificia bolivariana seccional Bucaramanga traerá como un beneficio adicional la optimización del tiempo de trabajo de los laboratoristas, ya que este podrá realizar otras actividades durante la etapa de falla.
- En la realización de estos ensayos se encuentra que, el tiempo necesario para realizar un ensayo de corte en la maquina digital es aproximadamente entre 10-12 minutos; por el contrario, el tiempo para realizar un corte con la nueva máquina automatizada es sustancialmente más corto, solo de 5 minutos.

12. RECOMENDACIONES

- Una vez ejecutados los ensayos con la maquina automatizada y digital, se recomienda el uso de la maquina automatizada para la ejecución de los ensayos de corte directo; ya que esta permite la generación de un informe completo y veraz de los parámetros de resistencia al corte, propios del suelo ensayado.
- En el proceso de preparación de la muestra, se recomienda ejecutar el cizallamiento de los especímenes preparados con la humedad natural en un periodo de tiempo no mayor a un día; dado que, si este periodo se prolonga durante un tiempo mayor, se corre el riesgo que la muestra pierda humedad, lo cual afectaría la veracidad de los resultados que se pretenden obtener.
- De igual modo, se recomienda almacenar los resultados obtenidos con la maquina automatizada en una sola carpeta, puesto que esto permitiría una mayor facilidad al momento de procesar los datos con el software DS7p1.
- Previo a realizar el ensayo de corte con la maquina automatizada, es de suma importancia cerciorarse de retirar los tornillos que fijan el molde. Pues si no se tiene en cuenta esto, se podría ocasionar un daño en el equipo de corte.
- Igualmente, se sugiere el almacenamiento de los especímenes de corte en un medio que garantice la conservación de la humedad de las muestras, ya sea cubiertos por parafina o envueltos en aluminio.
- Apoyados en el manual se recomienda continuar con esta investigación utilizando diferentes tipos de suelo, para así corroborar el valor de los coeficientes de correlación establecidos para ambas máquinas de corte.
- Durante la ejecución de los ensayos realizados con la maquina automatizada es de suma importancia no mover los cables que transmiten la información de la maquina a la data logger, ya que esto produciría la toma de resultados erróneos por parte del equipo.
- Respecto a los ensayos de corte directo realizados con la maquina automatizada, estos deben ser realizados con una temperatura ambiente de 20°C, para evitar de este modo la pérdida de humedad de la muestra durante la ejecución del ensayo.
- Así mismo, para la ejecución de un ensayo de corte en la maquina automatizada es recomendable contar con un mayor número de moldes que los utilizados en la ejecución de este trabajo; ya que al aumentarse estos se lograría una mayor agilidad en el análisis de los resultados.

13. BIBLIOGRAFÍA

- Badillo, E. J. (1973). *Fundamentos de la Mecánica de Suelos* (2° ed.). México: Limusa.
- Bowles, J. (1981). *Manual de laboratorio de suelos en ingeniería civil*. México D.C: McGrawHill.
- Bowles, J. E. (1979). *Propiedades geofísicas de los suelos*. Bogotá: Ediciones Lerner Ltda.
- Bowles, J. E. (1981). *Manual de laboratorio de suelos en ingeniería civil*. México: McGraw-Hill.
- Das, B. (2001). *Fundamentos de ingeniería geotécnica*. México: Cengage Learning Editores S.A.
- INV E-125-13. (2014). *Instituto Nacional de Vías*. Bogotá, Colombia: INVÍAS.
- INV E-126-13. (2014). *Instituto Nacional de Vías*. Bogotá, Colombia: INVÍAS.
- INV-E-141-13. (2014). *Instituto Nacional de Vías*. Bogotá, Colombia: INVÍAS.
- INV-E-142-13. (2014). *Instituto Nacional de Vías*. Bogotá, Colombia: INVÍAS.
- Reid, P. L. (1993). *Mecánica de suelos*. Santafé de Bogotá: McGraw-Hill.
- Rodríguez, E. J. (1973). *Mecánica de Suelos TOMO I Fundamentos de la mecánica de suelos* (2° ed.). México: Limusa.
- Rodríguez, Eulalio Juárez Badillo & Alfonso Rico. (1973). *Mecánica de Suelos TOMO I Fundamentos de la mecánica de suelos* (2° ed.). México: Limusa.
- Villalaz, C. (2004). *Mecánica de suelos y cimentaciones* (5° ed.). México: LIMUSA NORIEGA EDITORES.

14. ANEXOS

Muestras 1								
Limite Líquido								
N Prueba	Capsula	Numero de golpes	peso de capsula+suelo humedo (gr)	Peso capsula+ suelo seco	peso del agua	peso de la capsula	Peso del suelo seco	Contenido de agua
1	11	32	38.94	35.5	3.44	26.96	8.54	40.28103044
2	30	24	41.04	36.8	4.24	26.8	10	42.4
3	25	15	29.12	26.4	2.72	20.91	5.49	49.54462659
Limite Plastico								
N Prueba	Capsula	Numero de golpes	peso de capsula+suelo humedo (gr)	Peso capsula+ suelo seco	peso del agua	peso de la capsula	Peso del suelo seco	Contenido de agua
1	116		31.05	29	2.05	21.64	7.36	27.85326087
2	48		19.88	18.1	1.78	10.23	7.87	22.61753494

Muestras 2								
Limite Líquido								
N Prueba	Capsula	Numero de golpes	peso de capsula+suelo humedo (gr)	Peso capsula+ suelo seco	peso del agua	peso de la capsula	Peso del suelo seco	Contenido de agua
1	1	35	36.82	33.8	3.02	26.94	6.86	44.02332362
2	146	22	32.4	28.9	3.5	21.04	7.86	44.52926209
3	36	17	32.89	29.1	3.79	21.09	8.01	47.31585518
Limite Plastico								
N Prueba	Capsula	Numero de golpes	peso de capsula+suelo humedo (gr)	Peso capsula+ suelo seco	peso del agua	peso de la capsula	Peso del suelo seco	Contenido de agua
1	55		30.6	28.9	1.7	21.58	7.32	23.22404372
2	60		28.66	26.9	1.76	18.77	8.13	21.64821648

Muestras 3								
Limite Líquido								
N Prueba	Capsula	Numero de golpes	peso de capsula+suelo humedo (gr)	Peso capsula+ suelo seco	peso del agua	peso de la capsula	Peso del suelo seco	Contenido de agua
1	25	30	29.91	27	2.91	20.91	6.09	47.78325123
2	36	20	31.78	28.2	3.58	21.06	7.14	50.14005602
3	11	10	37.85	34.2	3.65	26.95	7.25	50.34482759
Limite Plastico								
N Prueba	Capsula	Numero de golpes	peso de capsula+suelo humedo (gr)	Peso capsula+ suelo seco	peso del agua	peso de la capsula	Peso del suelo seco	Contenido de agua
1	35		29.39	27.4	1.99	18.68	8.72	22.82110092
2	2		28.56	26.9	1.66	18.79	8.11	20.46855734

Muestras 4								
Limite Líquido								
N Prueba	Capsula	Numero de golpes	peso de capsula+suelo humedo (gr)	Peso capsula+ suelo seco	peso del agua	peso de la capsula	Peso del suelo seco	Contenido de agua
1	991	30	38.07	34.4	3.67	27.09	7.31	50.20519836
2	1	28	39.28	35.4	3.88	26.82	8.58	45.22144522
3	30	17	36.37	33.1	3.27	26.81	6.29	51.9872814
Limite Plastico								
N Prueba	Capsula	Numero de golpes	peso de capsula+suelo humedo (gr)	Peso capsula+ suelo seco	peso del agua	peso de la capsula	Peso del suelo seco	Contenido de agua
1	55		27.2	26.1	1.1	21.71	4.39	25.05694761
2	116		27.84	26.5	1.34	21.02	5.48	24.45255474

Muestras 5								
Limite Líquido								
N Prueba	Capsula	Numero de golpes	peso de capsula+suelo humedo (gr)	Peso capsula+ suelo seco	peso del agua	peso de la capsula	Peso del suelo seco	Contenido de agua
1	25	30	29.91	27	2.91	20.91	6.09	47.78325123
2	36	20	31.78	28.2	3.58	21.06	7.14	50.14005602
3	11	15	37.85	34.2	3.65	26.95	7.25	50.34482759
Limite Plastico								
N Prueba	Capsula	Numero de golpes	peso de capsula+suelo humedo (gr)	Peso capsula+ suelo seco	peso del agua	peso de la capsula	Peso del suelo seco	Contenido de agua
1	57		33.94	32.7	1.24	27.36	5.34	23.22097378
2	23		33.97	32.7	1.27	27.27	5.43	23.38858195

Muestras 6								
Limite Líquido								
N Prueba	Capsula	Numero de golpes	peso de capsula+suelo humedo (gr)	Peso capsula+ suelo seco	peso del agua	peso de la capsula	Peso del suelo seco	Contenido de agua
1	307	28	38.47	34.8	3.67	26.67	8.13	45.14145141
2	140	22	33.76	29.8	3.96	21.01	8.79	45.05119454
3	304	15	39.49	35.5	3.99	27.06	8.44	47.27488152
Limite Plastico								
N Prueba	Capsula	Numero de golpes	peso de capsula+suelo humedo (gr)	Peso capsula+ suelo seco	peso del agua	peso de la capsula	Peso del suelo seco	Contenido de agua
1	305		36.25	34.5	1.75	27.11	7.39	23.68064953
2	53		27.93	26.7	1.23	21.44	5.26	23.38403042